



TITLE:

水田精密農業のためのほ場マップ
作成および適用(Dissertation_全文
)

AUTHOR(S):

下保, 敏和

CITATION:

下保, 敏和. 水田精密農業のためのほ場マップ作成および適用. 京都大学
, 2003, 博士(農学)

ISSUE DATE:

2003-03-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k10246>

RIGHT:

水田精密農業のためのほ場マップ作成および適用

2003

下保敏和

水田精密農業のためのほ場マップ作成および適用

2003

下保敏和

目次

1章 緒言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動向	1
1.3 研究目的	3
1.4 論文構成	4
参考文献	5
2章 運搬車のための積載量計測装置	9
2.1 はじめに	9
2.2 実験装置	10
2.3 計測装置の校正	14
2.3.1 積載量計測装置の傾斜補正	14
2.3.2 ストレインアンプの初期設定方法	14
2.3.3 積載量計測装置校正	15
2.4 実験方法	17
2.5 結果及び考察	18
2.6 結言	19
参考文献	20
3章 結束機を用いた自脱コンバインのためのワラ収量計測	21
3.1 はじめに	21
3.2 実験装置	22
3.2.1 計測原理	22
3.2.2 結束タイミングの取得	22
3.2.3 車両位置の取得	24
3.2.3 車両の向きの取得	25
3.2.4 計測装置	26
3.3 実験方法	28
3.3.1 1999年の収穫実験	28
3.3.2 2000年の収穫実験	28
3.4 実験結果	29
3.4.1 コンバインの平均作業速度	29

3.4.2	ワラ束の質量分布と含水率	29
3.4.3	ワラ束の平均質量と平均作業速度	30
3.4.4	ワラ質量マップ	32
3.4.5	車両の姿勢変化	33
3.5	考察	35
3.5.1	ワラ束の質量	35
3.5.2	マップ	36
3.5.3	車両の姿勢変化と位置補正	37
3.6	結言	38
	参考文献	38
4章	水田における収量と生育量マップ	39
4.1	はじめに	39
4.2	実験方法	40
4.2.1	実験ほ場	40
4.2.2	生育量調査	42
4.2.3	モミとワラの全量調査	43
4.3	実験結果と考察	44
4.3.1	マップとセミバリオグラム	44
4.3.2	ワラ乾燥質量と生育量の関係	55
4.3.3	ワラとモミの関係	56
4.4	結言	59
	参考文献	60
5章	結言	61
	謝辞	63
	付録	65
	データ収集用プログラム	65

1章 緒言

1.1 研究背景

近年、狂牛病(Bovine Spongiform Encephalopathy)の発生や食中毒の集団感染、無登録農薬の販売などが、食品と農業に対する不安を多くの国民に与えている。これは、生産性や収益の向上にばかりに重点を置き過ぎるあまり、生産物の安全性や環境への負荷の考慮があまりなされてこなかったためであろう。このような事態を改善する手段として、農産物生産者に対して、収益性・生産性を追求しながらも、環境保全を行い安全な農産物を提供する技術を提供する必要がある。また消費者に対しては、安心して購入できるよう栽培履歴などの提供(food traceability)を行い、安全な農産物であることを保証するような技術を提供する必要がある。そこで、ほ場からいろいろな情報を収集し、その情報を栽培や経営に利用する農業として精密農業(Precision Agriculture)が注目されている。

生産者が正確なほ場情報を知ることは、管理を行なうにあたって非常に重要である。逆に情報なくして、妥当な管理を行なうことができる可能性が低いことは容易に予想することが可能であろう。しかしながら、ではいったいどのような情報があればよいのかという問いに対しては、現状でははっきりした答えは見付っていない。このため、集めることができる情報をいろいろ集めて、その情報からどういう行動を取ればよいかを研究する必要がある。一方、多くの情報を得るために生産者に多くの手間をかけさせることは、情報収集自体が重労働になりかねず、研究レベルではなく実用化を目指すのならば、なるべく避けなければならない。そこで、情報収集のために作業を行なうのではなく、必要な作業を行なうと同時に情報も収集できるようなセンサの開発を行なうことが必要となる。

1.2 研究動向

精密農業は、ほ場の状態をきめ細かくセンシングを行い、その場所に応じて作業を行うSSCM(Site Specific Crop Management)から発展してきた。これにより、環境への負荷を低減させ、安定した収量と品質を提供する低環境負荷で持続的な農業(Low Input Sustainable Agriculture)を行うことが可能になると期待さ

れている(梅田幹雄, 1999, 稲村達也, 1999, 小崎隆, 1999, 澁澤栄, 1999, 嘉田良平, 1999)。また, 高精度な測位性能を持つDGPSの開発が精密農業の実現を後押ししてきた(野口伸, 1999)。精密農業を実践するには, リアルタイムセンシングにより場所に応じた作業を行うことが考えられるだろう。Shearerら(S.A. Shearer and P.T. Jones, 1991)は, 近赤外線センサを用い雑草をねらって除草剤をまくことで利用する除草剤の量を減らし, 環境への負荷を低減している。また, Krishnanら(P. Krishnan, B.J. Butler, H. Hummel, 1981)は, 土壌有機物が多いほど除草剤が多く必要なことから, 光センサによりリアルタイムで有機物含量を計測しようと試みている。

リアルタイムセンシングにのみ頼るのではなく, オフラインで作業マップを作成しておき, その作業マップにしたがって作業を行うことができる。この場合, リアルタイムセンシングのみに頼るよりも多くの情報をより複雑に組み合わせることで作業マップを作成することが可能である。いろいろな情報を集めマップ化することが, よりよい作業マップを作るため必要となる。

経済的観点から見ると, 収量や品質は最も重要であり, これらの空間変動を計測することは意義がある。また, ほ場管理が適正であったかどうかを収量から判断することになる。そのため, 収量の計測を行なっている研究は多い。李ら(李忠根他, 1999)や庄司ら(庄司浩一他, 2000)は水田における収量マップの作成を行った。日本の水田において, 一筆のほ場内で収量が空間的に均一とは限らず, ばらつきが存在していることが示されている。また, 孫ら(SUN Lisa et al., 1998)は, 沖縄県のサトウキビの糖度の情報を集め, 糖度の変動要因を明らかにする試みを行なっている。収量計測センサの開発も進んでおり, Birrellら(Stuart J. Birrell et al., 1996)は, 衝撃力を計測するタイプと体積を計測するタイプの収量センサの比較を行っている。帖佐ら(帖佐直他, 2002, 柴田洋一, 1999), 庄司ら(SHOJI Koichi et al., 2002, 庄司浩一他, 2000)及び李ら(李忠根他, 2000)は, 自脱コンバイン用の収量計測センサの開発を行ない, 収穫作業と同時に収量の空間変動を計測する試みを行なった。Searcyら(S.W. Searcy et al., 1989)は, 収量センサを用いてモロコシの収量マップの作成を行った。Larkら(R. M. Lark et al., 1997)は, 収量センサのノイズやコンバイン内部での2番還元によるモミの循環により空間的な分解能に限界があることを示した。

土壌化学成分, 特に窒素量は, 収量や植物の生育に大きな影響が実験的に証

明されている(B.S.BLACKMORE, 1999)。矢内ら(矢内純太他, 2001)は、水田における土壌化学成分の分析を行ない、一筆の水田内での空間変動の存在を示すと同時に、土壌化学成分と収量との関係を明らかにする試みを行なった。また澁澤ら(澁澤栄他, 2000, 1999, 李民贊他, 2000, IMADE Anom Sutrisna et al., 2001)は、分光分析によりリアルタイムでの土壌化学成分の推定を試みた。SudduthとHummel(K. A. Sudduth and J. W. Hummel, 1990)は、可視光から近赤外までの分光スペクトルから土壌有機物含量の校正線の作成を試みた。さらに、この校正線を用いるための持ち運び可能な近赤外分光メータの開発を行った(K. A. Sudduth and J. W. Hummel, 1993)。IMADE(IMADE Anom Sutrisna et al., 2002)らや李ら(李民贊他, 1999)は、土壌化学成分の最適サンプリングサイズを決定する試みを行った。Powlsonら(David S.Powlson et al., 1998)は、土壌有機物の変化を調査し土壌の炭素保持力の推定を行った。Morganら(M.T.Morgan et al., 1993)は誘電率により土壌水分の計測を試みた。

村主ら(村主勝彦他, 2001)は、水田における稲の窒素保有量を近赤外線を含むマルチバンドの画像からの推定を試みた。Solieら(J.B.Solie et al., 1996)は近赤外線と赤色光の放射光度から窒素量の推定を行い可変施肥時の最適な空間分解能の推定を行った。HanとHayes(Y.J Han and J.C.Hayes, 1990)は、モノクロ画像から植被率の推定を行った。また、柴田ら(柴田洋一他, 2000, 2002)は、モノクロ画像から、水稻の植被率を求め生育量の推定を試みた。Meyer(George E. Meyer et al., 1988)らは、モノクロ画像とカラー画像を用い各波長における土壌と植物の光強度の違いを求め植被率の推定を行った。

1.3 研究目的

日本の稲作において精密農業を行なうためには正確なほ場マップを作成することが重要である。なぜならば、ほ場マップを作成することにより、ほ場内の各情報がどのように関係しているかを統計的に調べる事が可能になるからである。現状では、モミ収量と土壌化学成分の関係に主眼がおかれており、ワラ収量や生育量とモミ収量の関係を考慮した研究はあまり見られない。そこでまずは、なるべく多くのほ場情報を収集し、その空間変動はどのようなになっているかを明らかにすることを第一の目的とする。空間変動がランダムであるのか、何らかの傾向を持って変化しているのかは、ジオスタティスティクスの手法を用

いて決定する。また、空間依存性を考慮に入れた補完方法であるクリギングを用いてマップを作成する。第二の目的は、生長途中の状態と収量とはどのような関係にあるか明らかにする。この関係から生長途中の状態から収量を最適化できるかを導き出す。第三の目的は、ほ場情報を取得するセンサの開発を行なうこととする。センサを用いて情報収集の労力を軽減しなければ、多くの情報を収集することは困難である。

1.4 論文構成

本論文は5章から構成される。本章からはじまり、第2章と第3章ではほ場マップを作成するのに必要な情報を収集するセンサの開発について論じ、第4章ではほ場情報の空間変動とほ場情報間の関係について論じる。最後に第5章で総括を行なう。

第2章では、モミの収量を計測するためのバッチ式センサとして、運搬車のための積載量計測装置について述べる。3個のロードセルと2個の傾斜センサを用いて計測装置を構成し、その計測精度について測定を行った。また、運搬車の走行に対応するためのコンテナのロック機構と昇降機構を搭載し、その有用性を確認した。

第3章では、ワラの収量センサとして自脱コンバインのための結束機を用いた方法について述べる。イネは収穫されないワラも多く含んでおり、モミ収量だけではその場所での植物体の総生産量が特定できない。また、モミの収量センサの研究は多くなされているが、ワラの収量センサはあまり研究されていない。リアルタイムで取得する情報としては、結束のタイミングと刈り取り位置の2つだけというシンプルな構成でワラ収量を計測した。その計測原理と実験結果について論じる。この計測方法では、ワラの含水率をリアルタイムで計測する必要がないことを確認した。

第4章では、モミおよびワラの収量と生育量(SPAD値、草丈、分けつ数)の関係について述べる。また、情報の計測方法および解析方法について述べた後、マップおよびセミバリオグラム、単相関について論じる。さらに、可変施肥を行った場合の生育量と収量の関係および空間変動について述べる。

すべての調査は、京都大学大学院農学研究科附属高槻農場の水田にて行った。高槻農場のマップと利用したほ場を図1-1に示す。

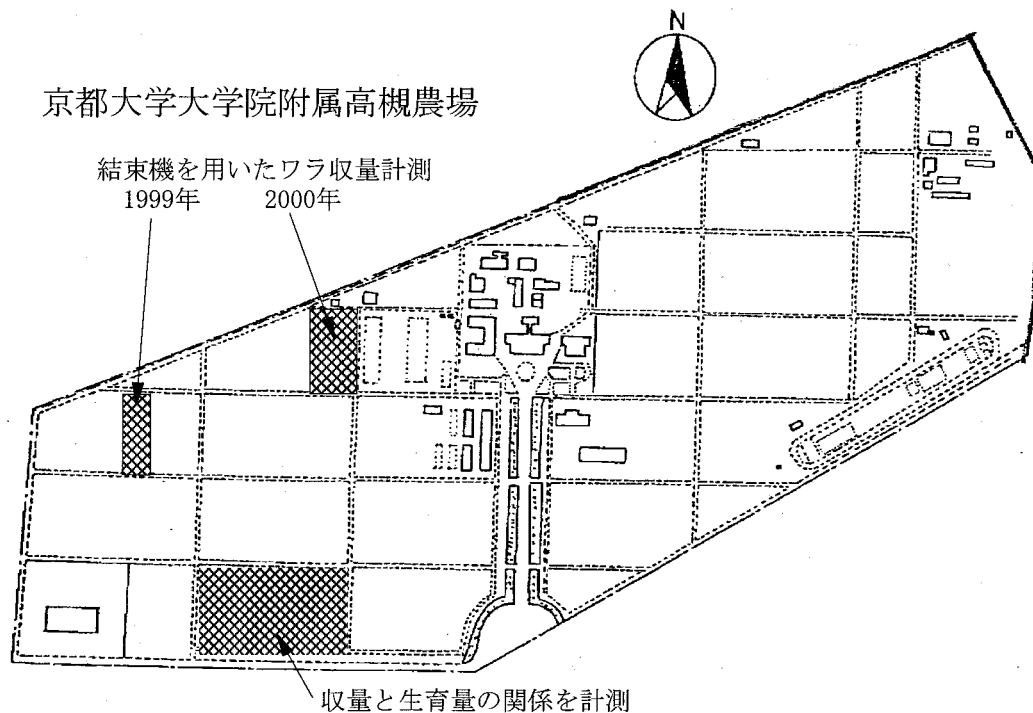


図1-1 高槻農場のマップと利用したほ場の位置

参考文献

- 1) BLACKMORE B.S.:英国の4圃場におけるばらつきの理解にむけて, 農業機械学会誌, 61(1), 17-26, 1999
- 2) 帖佐直・小林恭・大黒正道・柴田洋一・大嶺政朗:自脱コンバイン用収量計測システムに関する研究(第1報), 農業機械学会誌, 64(6), 145-153, 2002
- 3) David S. Powlson, Pete Smith, Kevin Coleman, Jo U. Smith, Margaret J. Glendining, Martin Korschens, Uwe Franko: A European network of long-term sites for studies on soil organic matter, Soil & Tillage Research, 47, 263-274, 1998
- 4) George E. Meyer, Anthony Stepanek, David P. Shelton, Elbert C. Dickey: Electronic Image Analysis of Crop Residue Cover on Soil, ASAE, 31(3), 968-973, 1988
- 5) S. Han, S.M. Schneider, S.L. Rawlins, R.G. Evans: A Bitmap Method for Determining Effective Combine Cut Width in Yield Mapping, Transactions of the ASAE, 40(2), 485-490, 1996
- 6) Y. J. Han, J. C. Hayes: Soil Cover Determination by Image Analysis of Textural

- Information, Transactions of the ASAE, 33(2), 681-686, 1990
- 7) IMADE Anom Sutrisna Wijaya, SHIBUSAWA Sakae, SASAO Akira: A Sampling Strategy in Mapping of Soil Parameters of Paddy Field, 農業機械学会誌, 64(3), 86-93, 2002
 - 8) IMADE Anom Sutrisna Wijaya, SHIBUSAWA Sakae, SASAO Akira, HIRAKO Shinichi: Soil Parameters Maps in Paddy Field Using the Real Time Soil Spectrophotometer, 農業機械学会誌, 63(3), 51-58, 2001
 - 9) 稲村達也: 栽培学分野から見たプレシジョン・アグリカルチャ研究への期待, 農業機械学会誌, 61(4), 12-13, 1999
 - 10) INOUE Yoshio, MORINAGA Shinsuke, SHIBAYAMA Michio: Non-destructive Estimation of Water Status of Intact Crop Leaves Based on Spectral Reflectance Measurements, Jpn. J. Crop Sci., 62(3), 462-469, 1993
 - 11) 嘉田良平: 日本における環境保全型農業の課題と展望, 農業機械学会誌, 61(1), 35-40, 1999
 - 12) 小崎隆: 土壌学分野から見たプレシジョン・アグリカルチャ研究, 農業機械学会誌, 61(4), 13-14, 1999
 - 13) P. Krishnan, B.J. Butler, J. Hummel: Close-Range Sensing of Soil Organic Matter, Transactions of ASAE, ASAE Paper No. 79-1505, 306-311, 1981
 - 14) R.M. Lark, J.V. Stafford, H.C. Bolam: Limitations in the Spatial Resolution of Yield Mapping for Combinable Crops, J. agric. Engng Res., 66, 183-193, 1997
 - 15) 李忠根・矢内純太・下保敏和・飯田訓久・梅田幹雄・小崎隆・松井勤: 水田におけるほ場情報マップの作成, 農業機械学会誌, 63(5), 45-52, 2001
 - 16) 李忠根・飯田訓久・下保敏和・梅田幹雄: 自脱コンバインのためのインパクト式収量センサの開発, 農業機械学会誌, 62(4), 81-88, 2000
 - 17) 李忠根・飯田訓久・梅田幹雄・下保敏和: 水田におけるモミとワラの収量マップ, 農業機械学会誌, 61(4), 133-140, 1999
 - 18) 李民贊・笹尾彰・澁澤栄・酒井憲司: NIR反射スペクトルによる土壌パラメータの推定, 農業機械学会誌, 62(3), 111-120, 2000
 - 19) 李民贊・笹尾彰・澁澤栄・酒井憲司: 土壌マッピングにおけるグリッド内サンプリングサイズの検討, 農業機械学会誌, 61(5), 65-73, 1999
 - 20) M.T. Morgan, R.K. Wood, R.G. Holmes: Dielectric Moisture Measurement of Soil

- Cores, Transactions of ASAE, 36(1), 17-22, 1993
- 21) 野口伸:米国穀倉地帯におけるプレシジョンアグリカルチャ, 農業機械学会誌, 61(1), 12-16, 1999
- 22) P. Reitz, H.D. Kutzbach: Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters, Computers and Electronics in Agriculture, 14, 137-150, 1996
- 23) 笹尾彰:農業機械学会シンポジウム「日本型プレシジョンファーミングを考える」報告, 農業機械学会誌, 61(1), 30-35, 1999
- 24) S.W. Searcy, J.K. Schueller, Y.H.Bae, S.C. Borgelt, B.A. Stout: Mapping of Spatially Variable Yield During Grain Combining, Transactions of the ASAE, 32(3), 826-829, 1989
- 25) S.A. Shearer, P.T. Jones: Selective Application of Post-emergence Herbicides Using Photoelectrics, Transactions of the ASAE, 34(4), 1661-1666, 1991
- 26) 柴田洋一・佐々木良治・鳥山和伸・荒木幹・浅野修・広川誠:水稻の局所管理のための画像マッピングシステム, 農業機械学会誌, 64(1), 127-135, 2002
- 27) 柴田洋一・荒木幹・鳥山和伸・佐々木良治・浅野修・広川誠:画像マッピングシステムの開発, 農業機械学会誌, 62(2), 175-177, 2000
- 28) 柴田洋一: 大区画圃場における水稻の局所管理, 農業機械学会誌, 61(4), 14-19, 1999
- 29) 澁澤栄・平子一進・大友篤・酒井憲司・笹尾彰・山崎喜造:リアルタイム土中光スペクトルロメータの開発, 農業機械学会誌, 62(5), 79-86, 2000
- 30) 澁澤栄・平子一進・大友篤・李民贊:リアルタイム土中光センサーの開発, 農業機械学会誌, 61(3), 131-133, 1999
- 31) 澁澤栄:米国プレシジョンアグリカルチャへの訪問, 農業機械学会誌, 61(1), 7-12, 1999
- 32) SHOJI Koichi, KAWAMURA Tsuneo, HORIO Hisashi: Impact-based Grain Yield Sensor with Compensation for Vibration and Drift, 農業機械学会誌, 64(5), 108-115, 2002
- 33) 庄司浩一・川村恒夫・堀尾尚志:移植田と散播田における水稻の収量マップの作成, 農業機械学会誌, 62(2), 167-174, 2000
- 34) J.B. Solie, W.R. Raun, R.W. Whiney, M.L. Stone, J.D. Ringer: Optical Sensor Based Field Element Size and Sensing Strategy for Nitrogen Application,

- Transactions of ASAE, 39(6), 1983-1992, 1996
- 35) Stuart J. Birrell, Kenneth A. Sudduth, Steven C. Borgelt: Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping, Computers and electronics in agriculture, 14, 215-233, 1996
- 36) K.A. Sudduth, J.W. Hummel: Portable, Near-infrared Spectrophotometer for Rapid Soil Analysis, Transactions of the ASAE, 36(1), 185-193, 1993
- 37) K.A. Sudduth, J.W. Hummel: Evaluation of Reflectance Methods for Soil Organic Matter Sensing, Transactions of ASAE, 34(4), 1900-1909, 1991
- 38) 村主勝彦・飯田圭亮・梅田幹雄・稲村達也・松井勤:マシンビジョンによるイネの窒素保有量の推定, 農業機械学会誌, 63(3), 59-66, 2001
- 39) SUN Liya・上野正実・秋永雅輝・川満芳信:サトウキビの生産支援情報システムに関する研究, 農業機械学会誌, 60(5), 27-35, 1998
- 40) 梅田幹雄: 京都大学でのプレシジョン・アグリカルチャ・プロジェクト, 農業機械学会誌, 61(4), 4-11, 1999
- 41) 梅田幹雄: ドイツでのプレシジョン・アグリカルチャ, 農業機械学会誌, 61(1), 26-29, 1999
- 42) L.E. Wagner, M.D. Schrock: Yield Determination Using a Pivoted Auger Flow Sensor, Transactions of the ASAE, 32(2), 409-413, 1989
- 43) Yanai J., Lee C.K., Umeda M., Kosaki T.: Spatial Variability of Soil Chemical Properties in a Paddy Field. Soil Sci. Plant Nutr., 46(2), 473-482, 2000
- 44) 矢内純太・李忠根・下保敏和・飯田訓久・松井勤・梅田幹雄・小崎隆: Geostatistical Analysis of Soil Chemical Properties and Rice Yield in a Paddy Field and Application to the Analysis of Yield_Determining Factors, Soil Sci. Plant Nutr., 47(2), 291-301, 2001
- 45) 矢内純太・李忠根・梅田幹雄・小崎隆: ジオスタティスティクスを用いた水田における土壌化学特性値の空間変動解析, 日本土壌肥料科学雑誌, 71(4), 520-529, 2000
- 46) G.C. Zoerb, G.A. Moore, R.P. Burrow: Continuous Measurement of Grain Moisture Content During Harvest, Transactions of the ASAE, 36(1), 5-9, 1993

2章 運搬車のための積載量計測装置

2.1 はじめに

穀物の収量を収穫作業と同時に計測して一筆の圃場内での収量変動を調査する研究が行われている。李ら(李忠根他, 2000)は、歪みゲージによるインパクト式収量センサとRTK-DGPSを設置した自脱コンバインを用いることで、モミの流量とコンバインの正確な位置情報を計測し、収量の空間変動を示す収量マップを作成した。帖佐ら(帖佐直・小林恭, 1999)は、光電センサを用いた収量センサでモミ流量の検出を行った。これらのセンサを搭載した自脱コンバインでは収穫作業と同時に計測が行なえるため、収量の空間変動を手軽に調査できる利点がある。しかしながらこれらの方法では、流量を積算してモミ収量の絶対量を求める場合、計測誤差も同時に積算してしまうため精度が低下する可能性がある。このため、他の方法で収穫したモミ収量の空間変動以外に絶対量を計測することが必要である。牧野ら(牧野英二他, 2001)は、自脱コンバインの油圧シリンダ内の圧力や穀粒タンク下部の圧力を計測して穀粒タンクに溜ったモミ質量の推定を行なっている。イネの収穫作業は、コンバインで刈り取った後、モミを軽トラックや運搬車に一旦積み替えて乾燥施設へ運搬するという作業体系が一般的である。そこで、コンバインからモミを運搬車へ積み替えた後モミの質量を計測すれば、運搬車にモミを投入する毎に計測でき、これを積算すればモミ全収量の計測が可能である。そこで、運搬車に搭載して使用する積載量計測装置の開発を行った。本章では、開発した計測装置の概要、性能試験および実際に圃場で行ったモミ収量の計測結果について報告する。

2.2 実験装置

図2-1に開発した積載量計測装置付き運搬車を，図2-2にこの装置を構成するセンサや機器を示す。



図2-1 計測装置付きの運搬車

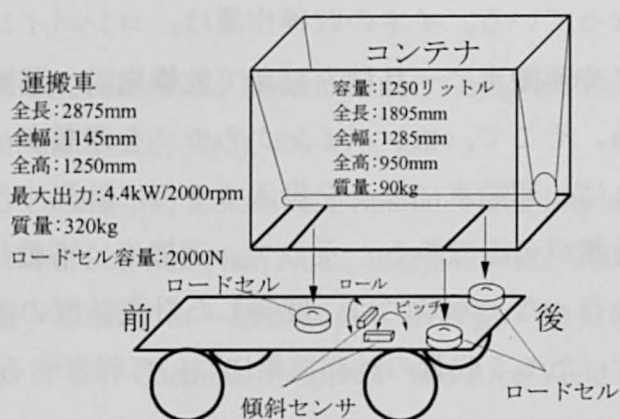


図2-2 装置の構成

モミコンテナ(タイショー製 LM-08T) は，軽トラック用で全長1895mm×全幅1285mm×全高950mm，容量1250L，質量90kgである。コンテナからのモミの排出は，内蔵の電動スクリューオーガで行う。このコンテナを荷台を取り外した農用四輪運搬車に搭載した。四輪運搬車（筑水キャニコム製 ES643D MD）は，全長2875mm×全幅1145mm×全高1250mm，質量320kgの後輪2輪駆動形車両である。モミ質量を計測するため，3個のロードセルを運搬車のフレームとコンテナの間に設置した。ロードセル(共和電業製LC-200KN)は容量2kNで，前

方に1個，後方に2個配置した。積載量の計測は農道のような不整地で行うため，運搬車の水平を保つことは難しい。そこで，運搬車のロール角とピッチ角を計測するため，2個の傾斜センサ(ユーシン製 スロープアイ)を定規板に固定して運搬車のフレームに取り付けた。図2-3に設置した傾斜センサを示す。光ファイバジャイロは，傾斜センサの校正のために利用し，積載量計測には用いなかった。図2-4に信号の流れを示す。ロードセルからの出力は，ストレインアンプ(共和電業製 A99-7503)で $\pm 4000 \times 10^{-6}$ ひずみで $\pm 2V$ に増幅後，AD変換ボードを介してパーソナルコンピュータ(NEC製 PC-9801RA21)に入力保存させた。利用したパーソナルコンピュータの仕様を表2-1に示す。



図2-3 傾斜センサと光ファイバジャイロ

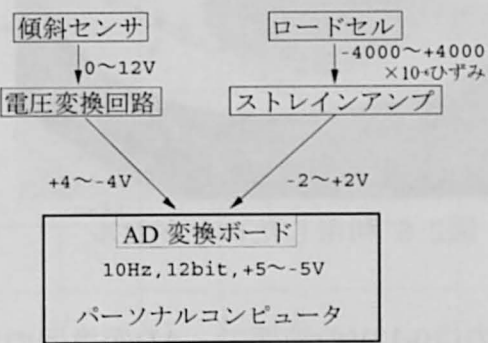


図2-4 信号の流れ

表2-1 パーソナルコンピュータの仕様

製品名: NEC PC-9801RA21
 CPU: AMD 486DX4 120MHz
 Memory: 11.6MB
 OS: MS-DOS 6.2
 Compiler: djgpp2 (gcc 2.7.1)

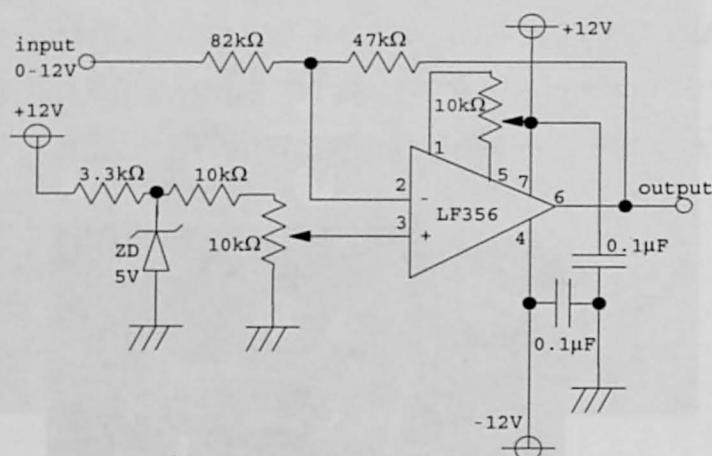


図2-5 差動増幅回路



図2-6 利用したロードセル

傾斜センサからの出力は0-12Vの範囲で、AD変換器の測定レンジに適合させるため、オペアンプを用いた差動増幅回路で $\pm 4V$ に調整してAD変換した。電子回路図を図2-5に示す。使用したAD変換器は分解能が12bitのコンテック製AD12-16T(98)で、測定レンジ $\pm 5V$ 、サンプリング周波数10Hzに設定した。図2-6に今回利用したロードセルを示す。

走行時に、路面の凹凸や急停車によりロードセルに大きな荷重がかかるとロ

ードセルが壊れてしまう可能性がある。したがって走行中にロードセルに荷重がかからないようにするため、コンテナをロードセルから持ち上げた状態でロックする機構を運搬車に取り付けた。ロック機構を図2-7に示す。ここで、コンテナの昇降は軽量で安価なカム機構により人力で行った。また、コンテナが前後左右に移動して運搬車から落ちないようにするため、運搬車に対して垂直方向にだけ可動するようにガイドを取り付けた。

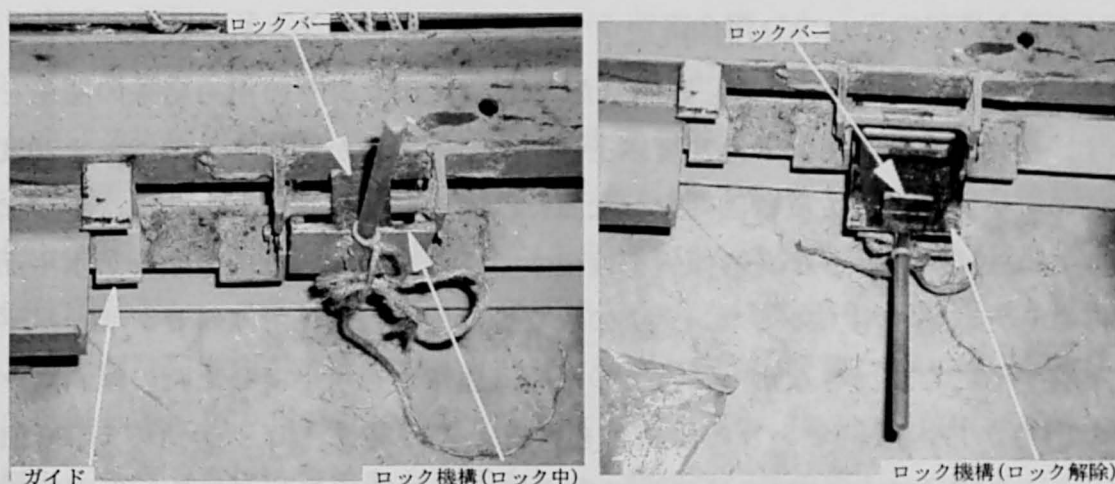


図2-7 ロック機構とガイド

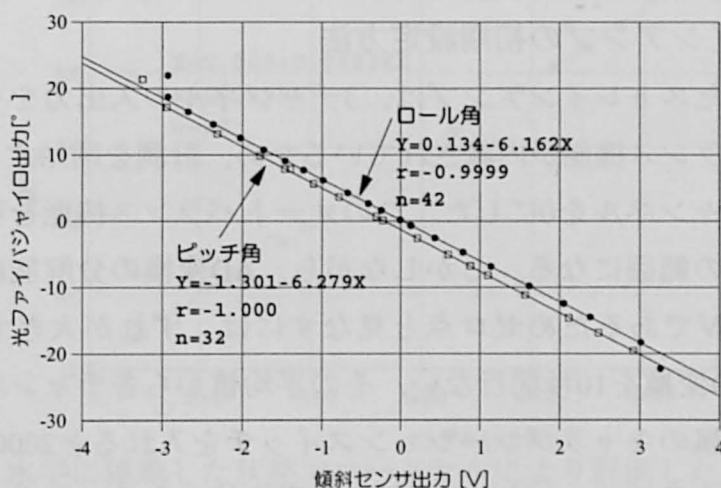


図2-8 傾斜センサ出力と光ファイバジャイロ出力の関係

2.3 計測装置の校正

2.3.1 積載量計測装置の傾斜補正

傾斜センサのキャリブレーションを以下の方法で行った。図2-3に示すように傾斜センサを固定した定規板に3軸光ファイバジャイロ(日本航空電子製GHL-4603-1000 角度ドリフト ± 0.2 度/分)を取り付けた。これを三脚の雲台上に載せ、任意の角度に傾斜させて両センサからの出力を計測した。傾斜センサからの出力は12bit, 10HzでAD変換を行ない、光ファイバジャイロからの出力は50Hzでシリアルポートから取得して、10秒間分のデータをそれぞれ平均した。また、同じ角度で2回繰り返し計測した。図2-8に両センサの出力結果の関係を示す。使用した傾斜センサは20度以上傾斜すると出力が飽和するので、 ± 20 度以内のデータを用いて直線回帰を行なった。この結果、傾斜センサは、十分な精度でロール角とピッチ角の傾斜を検出することを確認した。運搬車が水平面に停車した状態でも、モミコンテナの取り付け位置の関係で傾斜センサを水平に実装することはできなかった。このため、運搬車を水平にした時の傾斜センサの出力から、傾斜センサの傾斜角を得た。この結果、ピッチ角方向に1.31度、ロール角方向に0.772度傾斜して定規板は取り付けられていることが判明し、改めてこの値を運搬車の姿勢のゼロ点とした。

2.3.2 ストレインアンプの初期設定方法

今回利用したストレインアンプは、3チャンネルの入出力を有している。また、オートバランス機能が内蔵されているため、計測を開始する前にこの機能を用いて全チャンネルを0にした。このオートバランス機能を利用すると出力値が $\pm 100\text{mV}$ の範囲になる。しかしながら、AD変換の分解能は出力電圧に換算すると 2.4mV であるためゼロ点と見なすには、ずれが大きすぎる。このため、さらにAD変換を10秒間行ない、その平均値から各チャンネルのゼロ点を得た。また付属のキャリブレーションスイッチを入れると 2000×10^{-6} ひずみ分の電圧が発生するので、これをもとにAD変換値と各チャンネルのひずみ量の関係を得た。

2.3.3 積載量計測装置校正

水平な場所に停止した運搬車に質量が既知の物体を載せてAD変換を行ない、3つのロードセルのひずみ値に変換後に積算した。AD変換はサンプリング周波数10Hzで10秒間のデータを平均した。計測結果として、図2-9に積載した質量とひずみの関係を示す。図のひずみは3つのロードセルのひずみを足したものである。高い線形性を示しており、水平であれば十分正確であると判断した。次に、運搬車が傾斜した状態での計測を再現するため、運搬車の片輪を物に乗り上げて傾斜させて各ロードセルにかかる荷重を調べた。その結果を図2-10に示す。車両の姿勢が変化することによりロードセルが支える荷重の分布は変化した。また前側にロードセルを1個しか配置していなかったため、前側ロードセルの荷重が大きくなっている。ピッチ角が1度を越えたあたりから性能が悪化し、1.2度までは5%以下の誤差におさまっている。またロール角が2度付近で性能が低下し、-2度では誤差は5%以下であるが、+2度で10%の誤差であった。この原因は、傾斜が大きくなると、コンテナが転落防止用に取り付けたガイドに接触するためと思われる。したがって、運搬車の傾斜は2度以内に納める必要がある。さらに測定精度を上げるため、傾斜センサの値からロードセルの値を補正する方法が考えられる。補正方法を、図2-11に示す。

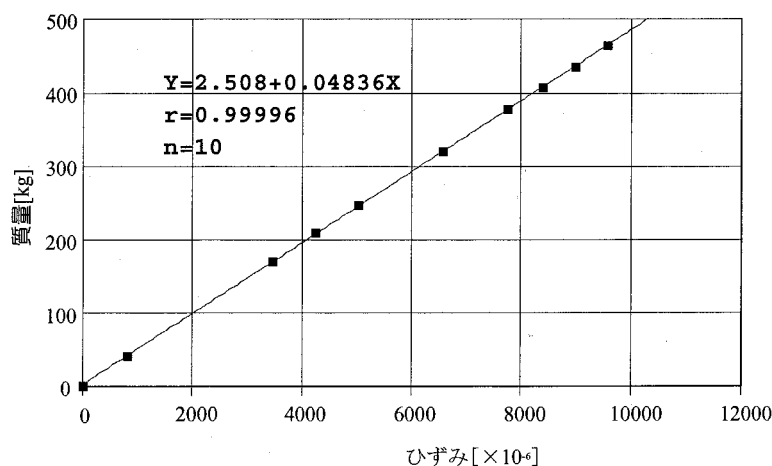
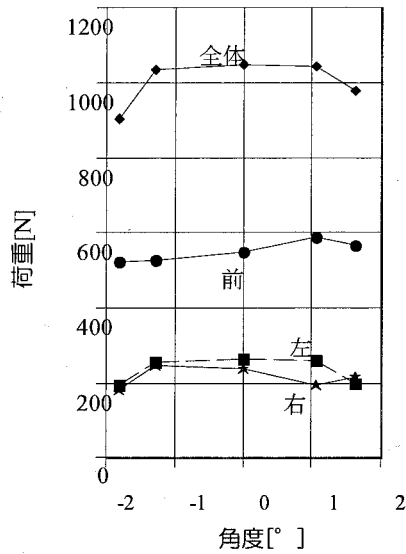
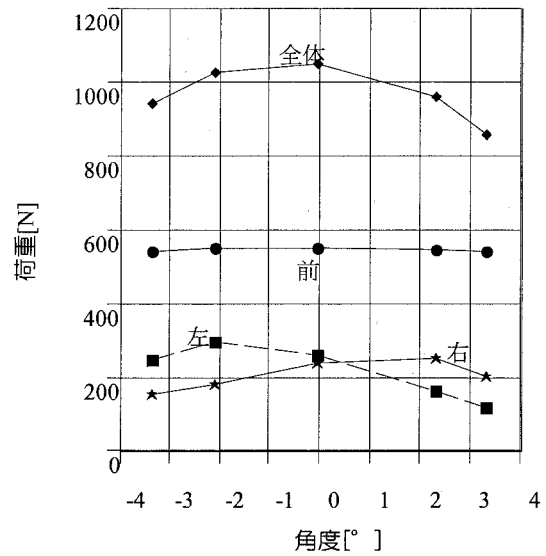


図2-9 水平に停車した状態でロードセルにより計測した積載量



a) ピッチ角方向へ傾斜させた場合



b) ロール角方向へ傾斜させた場合

図2-10 車両の傾斜角との荷重分布の関係

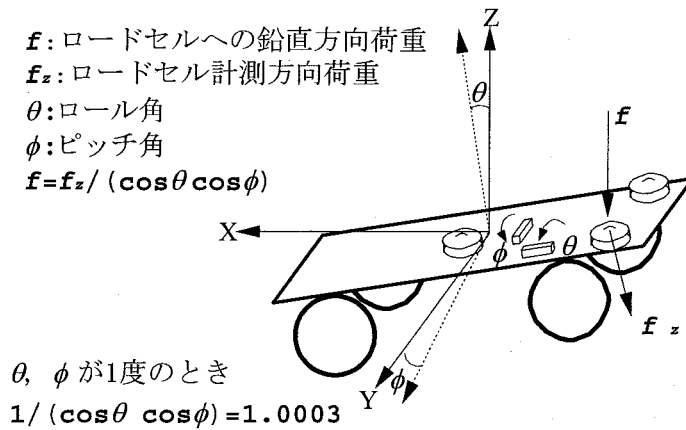


図2-11 車両の傾斜角とロードセルの計測荷重の関係

車両が傾斜した場合の重力による鉛直方向荷重とロードセルで計測できる荷重の関係を式2-1に示す。

$$f = \frac{f_z}{\cos \theta \cos \phi} \quad (2-1)$$

ここで,

f : ロードセルへの鉛直方向荷重 [N]

f_z : ロードセル計測方向荷重 [N]

θ : ピッチ角 [°]

ϕ : ロール角 [°]

しかしながら、傾斜が小さい時はこの補正の効果はほとんどない。たとえば、ピッチ角とロール角方向に1度ずつ傾斜している場合、補正しない時との差は0.03%にしかない。AD変換の分解能から、質量の計測分解能は249gであり、質量830kgの物質を積載したときに補正ありと補正なしとの誤差が計測分解能分の249gずれることになる。誤差が計測分解能分ずれる最小質量830kgは、計測可能な最大質量600kgよりも大きい。したがって、車両の傾斜が1度という小さい場合には、傾斜センサの出力に応じて補正しなくても十分であると考えられる。そこで、今回はロール角、ピッチ角が1度程度である場合は、傾斜角による質量の補正は行なわないことにした。

2.4 実験方法

1999年に京都大学大学院農学研究科附属高槻農場の0.5ha(100m×50m)圃場をコンバインでの収穫と並行してモミ質量を前記の装置で計測した。計測手順は次の通りである。ほ場を10m×5mの大きさの100区画に分割し、コンバインで一区画を収穫するたびに一旦モミ袋に移し替えて、その質量をロードセル(共和電業製 LT-50KF)に吊り下げて静ひずみ計で測定した。その後、モミを順次運搬車のコンテナに投入し、質量を計測した。質量の増加分を区画の収量とみなし、投入量と比較することによって計測誤差を求めた。運搬車は、コンテナが一杯になるまで動かさずに計測を行なった。運搬車が移動した場合は、最初に傾斜センサの値から車両が2度以上傾斜していないことを確認し、ストレインアンプのゼロ点調整と校正值の取得を行い、その後計測を開始した。測定したAD変換値から各チャンネルのひずみ量を得て、それらを足し合わせて3チャンネル分のひずみ量をモミ質量に換算した。

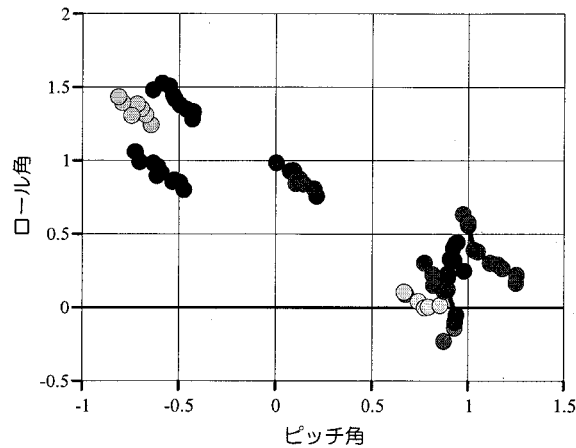


図2-12 車両の姿勢角変化

2.5 結果及び考察

運搬車の傾斜角変化を図2-12に示す。この図では、コンテナが一杯になるまで運搬車が移動せずに連続してモミ質量を計測したときの姿勢の変化を線で結んだ。モミをコンテナに連続して投入していくと車両の姿勢が変化するのが観察できる。姿勢がどの方向へ変化するかは、モミを投入する位置に依存している。コンテナの右側後方から投入することが多かったため、一定方向へ傾斜していく場合が多くみられるが、姿勢は必ずしも一定方向だけではなく様々な方向へ変化している。しかし、測定を行っている間は車両の傾斜は2度以内に収まっていることが確認できる。運搬車で計測した値と投入したモミの質量の関係を図2-13に示す。実測値と計測値の間の相関係数は0.9977($n=60$)であった。また、各計測値からの差を取った区画の収量で比較すると、60点のデータ中明らかに計測を失敗していると思われるデータが3点あった。これは、計測装置の誤差によるものではなく、1区画でモミ袋が2つになったのにもかかわらず、1袋のみを投入して計測してしまったと推定される。この3点を取り除くとすべての点が $\pm 9\text{kg}$ 以内の誤差に収まった。誤差の標準偏差は 4.06kg であった。収量 5t/ha のほ場において3条刈りコンバインで1辺 90m の刈り取りを2往復して行なった場合、収穫できるモミ質量は 160kg 程度になることから、 10kg の計測誤差があると6%程度の変動となる。したがって、今回開発した積載量計測装置の精度であれば、収量の変動が十分検出可能と考えられる。今後の課題としては、コンテナが安定にロードセルに載るよう、車両を水平に保ちながら計測できるようにすることが必要である。車両が傾斜した場合には、コンテナがロック機構や転落防止用ガイドに接触して実際の荷重が正確にロードセルに作用せず、計

測に大きな影響があったと考えられる。また、カム機構によりコンテナを昇降させるときにコンテナの位置が変化し、ガイドに押しつけることも影響した。今回の実験では、傾斜の影響が小さい傾斜角2度以内になるようにして計測を行ったが、この作業自体が煩雑であるため、アウトリガー等で強制的に姿勢を水平にすることも考えられる。しかし、この方法は装置が複雑になり質量とコストが増加するので、吟味する必要がある。また、別の改善方法としてロック機構、ガイドおよびカム機構の改善を行い、車両がある程度傾斜した状態でも計測を行い、傾斜センサによりロードセルの出力を補正することも考えられる。

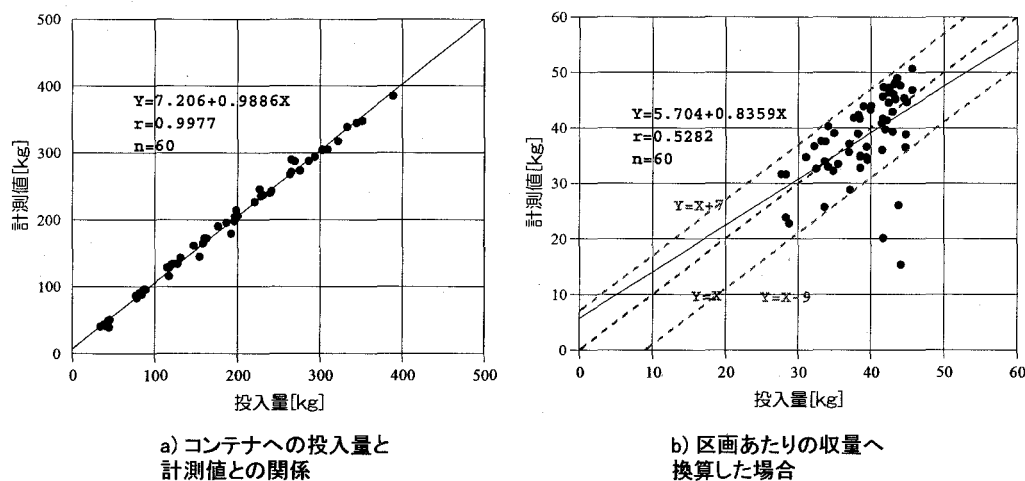


図2-13 モミの投入量と計測値の関係

2.6 結言

本研究では、モミ収量を計測するため運搬車に搭載して使用する積載量計測装置の開発を行った。主な内容と結果は、以下の通りである。

- 1) モミ収量をコンテナと一緒に計測するため、ロードセル3個を使用して積載量計測装置を試作した。
- 2) 車両の傾斜を計測するため、傾斜センサ2個を使用してピッチ角とロール角を計測した。
- 3) 運搬車が走行する場合に備えて、転落防止のためのロック機構とガイド、およびコンテナ昇降用カム機構を設けた。
- 4) 圃場実験の結果、開発した積載量計測装置はモミ質量を±9kg以内の誤差で計測することができた。

参考文献

- 1) 李忠根・飯田訓久・下保敏和・梅田幹雄：自脱コンバインのためのインパクト式収量センサの開発，農業機械学会誌，62(4)，81-88，2000
- 2) 大黒正道・小林 恭・帖佐 直：収量計測コンバインに関する研究(第1報),第57回農業機械学会講演要旨集,313-314,1998
- 3) 帖佐 直・小林 恭：収量計測コンバインに関する研究(第2報),第58回農業機械学会講演要旨集,97-98,1999
- 4) 帖佐 直・小林 恭：収量計測コンバインに関する研究(第3報),第58回農業機械学会講演要旨集,99-100,1999
- 5) 牧野英二・杉山隆夫・市川友彦・北岸 致・川中道夫・浜田健二・加藤宏郎：穀物収穫情報測定装置の開発(第1報)，第60回農業機械学会講演要旨集，391-392，2001
- 6) 建石邦夫・金谷 豊・佐々木豊・小林 亨：高精度作物栽培管理のための収量マッピング技術の開発，第58回農業機械学会講演要旨集，283-284，1999
- 7) 下保敏和・飯田訓久・李忠根・梅田幹雄：運搬車の積載量計測装置，第59回農業機械学会講演要旨集，333-334，2000

3章 結束機を用いた自脱コンバインのためのワラ収量計測

3.1 はじめに

作物学的な分析によって水稻の精密農業を行なうにはイネの生育や土壌の状態等のより多くのほ場情報を収集できることが望ましい。このため、李ら(李忠根他 2001, 矢内純太他 2000)は 基肥の前にほ場から土壌をサンプリングして土壌特性値を調べて土壌マップを作成したり、イネの最高分げつ期に葉色、草丈、及び茎数を調査してイネ生育マップを作成したりしてほ場情報の収集を行った。また、モミだけでなくワラの収量も重要なほ場情報である。この理由は、イネが土壌や肥料から吸収した養分は、モミの生産だけでなく、当然ワラの生産にも使用されるので、作物学的な分析を行なう上で重要なパラメータだからである。すなわち、イネがどの程度の養分を吸収したかを知るためには、イネの生育時期と収穫時期のワラ量を比較する必要がある。また、今後バイオマス資源としてワラを利用する場合は、ワラの収量マップが重要な役割を果たすと考えられる。李ら(李忠根他, 1999)は、あらかじめほ場をいくつかの等面積の区画に分割して、区画ごとにコンバインでイネを収穫しモミとワラに関して全量計測を行った。この方法は極めて正確にワラの収量を計測することが可能であるが、一筆のほ場を計測するだけでも膨大な労力と時間を要するため、実用的ではない。精度は多少落ちても、効率よく計測する方法の開発が必要である。したがって、コンバインでイネを収穫しながらワラ量を同時計測するため、ワラ結束機を用いたワラ収量計測装置の試作を行った。本章では、試作した装置の概要、ほ場実験の結果及び計測したデータから求めたワラ量マップについて述べる。

3.2 実験装置

3.2.1 計測原理

ワラ収量の計測方法は次のとおりである。コンバインの後部に結束機を取り付け、コンバインでイネを刈り取って脱穀したあと、ワラを切らずに結束機で束ねてコンバインから排出させる。このとき、ワラを結束した瞬間の場所と時刻を計測し、刈り幅を一定として一束のワラを作るのに必要であった面積を求める。次に、ワラ一束の乾物質量をこの面積で割ることにより収量を推定する。

結束機がワラを束ねて排出する機構は、次のように動作する。まず排ワラチェーンから結束機へ供給されたワラは、パッカーの爪により圧縮されドア（ワラ量検出レバー）を押しつける。ワラの量が多くなるにつれドアへの力が大きくなり、やがてドアが動くことによりノッタのクラッチが入り結束される。つまりワラの質量がある一定以上になると動作するのではなく、排ワラチェーンで供給されるワラが溜まってある一定の力以上でドアを押すと動作する仕組みになっている。これは、一定の力でワラを圧縮してワラの詰まり具合、すなわちドアを押す部分の断面積を一定にしているものとみなせる。もしワラ束の長さが一定ならば、結束機は排出されるワラ束の体積をほぼ一定にしているものと思われる。

したがって、結束機では質量を一定にしてワラ束を作っているのではなく、体積を一定にするようにワラ束を作っている。このため、ワラの質量を直接計測していないため、収量の計測精度が低下する恐れがある。しかし、ワラの質量を計測する場合、乾物質量を求めるために含水率の変動を計測しなければならない。これに対し結束機で見かけ断面積を用いる方法は、ワラの含水率の影響を受けにくいと考えられるので、リアルタイムでの含水率変動の計測を省ける可能性があり、装置の簡略化が図れることが期待される。したがって、本研究では結束機を用いてワラ収量の計測を試みた。

3.2.2 結束タイミングの取得

ほ場実験は1999年と2000年の秋に行った。イネの収量計測に供試したコンバインは、1999年は4条刈り(ヤンマー農機製 Ee-8)で、2000年は3条刈り(三菱農機製 VS28)であった。結束機は、それぞれのコンバインに専用の機械を用いた。

1999年の実験では、リミットスイッチを結束機のノッタに取り付け、結束動作を1回したときにスイッチが1回入るようにした。図3-1は結束機にリミットスイッチを設置した部分を示す。このリミットスイッチから発生するオンオフ信号をカウンタ回路で計測して、100ms(10Hz)ごとにコンピュータにカウント値を読み込んだ。そして、カウント値が1つ増加した時に結束動作を行ったと判断した。

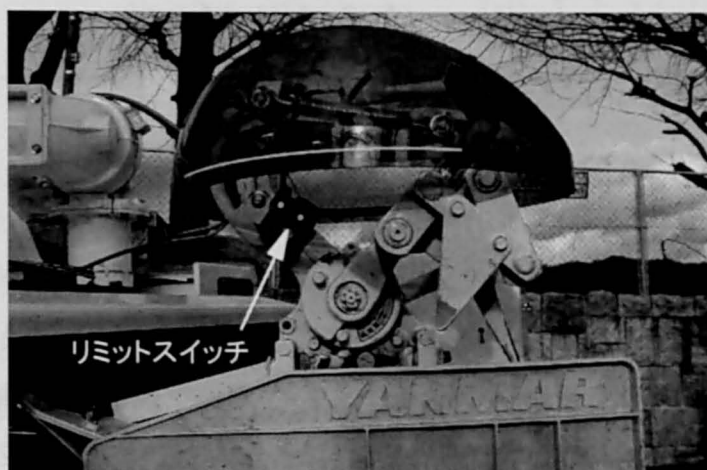


図3-1 結束機とリミットスイッチ

2000年の実験では、結束機の機構とセンサ取付け位置の問題で、リミットスイッチではなく、直動式ポテンショメータ(150mmストローク)を用いた。このポテンショメータで結束動作時に往復運動するレバーの変位を計測して、結束タイミングを取得した。ポテンショメータからの出力は1kHzでAD変換を行い、コンピュータで結束動作の開始時間を取得した。AD変換ボード(マイクロサイエンス製 ADM-1498BPC)は、12bitの分解能を有しており、測定レンジを±5Vに設定した。結束機が1回動作した場合のポテンショメータからの出力信号の一例を図3-2に示す。結束したタイミングは、ポテンショメータの出力値があるしきい値を超えた時とした。コンバインが走行を始める前に1秒間AD変換を行い、その平均値から0.049V(AD変換値で20)高い電圧をしきい値とした。したがって、出力電圧が平均値より0.049V大きくなったところを結束動作の開始時刻とした。

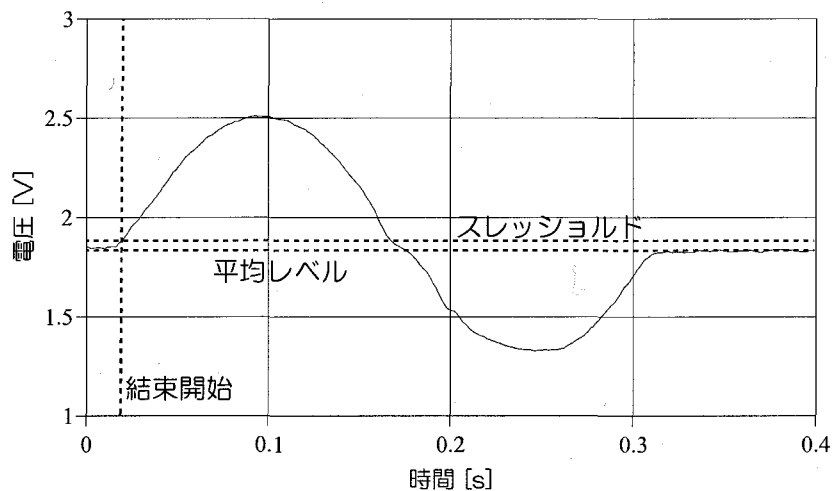


図3-2 結束動作時のポテンシオメータ出力の変化

3.2.3 車両位置の取得

コンバインの位置を計測するため、RTK-DGPS (トリンブル製 7400MSi)を用いた。GPSから0.2秒(5Hz)ごとに出力されるデータをコンピュータのシリアルポートを介して取り込み、結束機のカウンタ値、あるいはAD変換値と共にハードディスクに保存した。1999年の実験では、図3-3に示すようにGPSアンテナをグレインタンクの上に搭載したので、コンバインの進行方向をGPSのデータから差分により求め、その方向を基準にしてGPSアンテナ位置からカッタ位置を算出した。GPSアンテナとカッタの位置関係は光波距離計にて計測を行った。2000年の実験では、コンバインのカッタ真上にあるモミ排出オーガの上にアンテナを取り付けたので、GPS位置からカッタ位置への変換作業を不要であった。わらの刈り取りから結束機までの時間遅れは、2段階で補償した。まず、刈り取りから扱ぎ胴への搬送速度は走行速度に比例しているため、1.5m走行すると扱ぎ胴に到達することから、この部分は時間ではなく位置を1.5m手前にずらすことで補正する。次に扱ぎ胴から結束機までは、8秒の時間遅れが存在するとみなした。

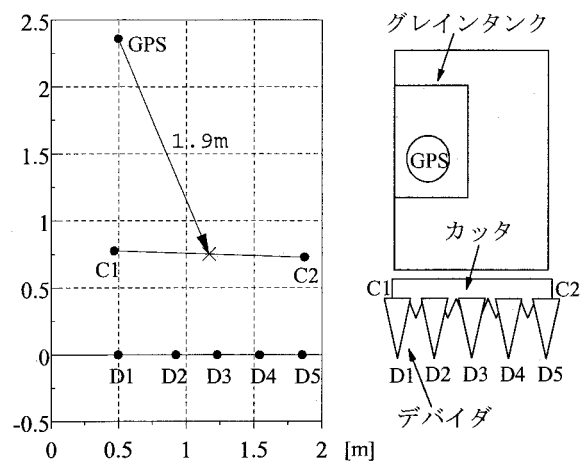


図3-3 GPSアンテナとカッタの位置関係

3.2.4 車両の向きの取得

2000年には、グレインタンクの上に3軸光ファイバジャイロ(日本航空電子製 JCS-7401A)を塔載し、収穫作業時のコンバインの姿勢変化を確認した。供試した3軸光ファイバジャイロの仕様を表3-1に、精度を表3-2に示す。

表3-1 日本航空電子製 JCS-7401Aの仕様

入力電源電圧	DC 20-30V	標準 DC 24V
消費電流	1A 以下	
作動温度	-10 - +50℃	
振動	5-200Hz	
衝撃	19.6m/s ²	2G

表3-2 日本航空電子製 JCS-7401Aの精度

	測定範囲	分解能	精度
ロール角	±45°	±0.1° 以下	±0.2°
ピッチ角	±45°	±0.1° 以下	±0.2°
方位角	±180°	±0.1° 以下	±2° /分

3.2.5 計測装置

市販のコンピュータ(NEC製 PC-9821Xa9)をコンバインに搭載し、これによりデータを収集し、ハードディスクに保存した。OSにはFreeBSDを用い、無線LANによりコンバイン上のコンピュータをほ場の外から操作した。1999年は、デジタルIOボード(ネオローク電子製 PCN-1098)を通して自作の24bitカウンタ回路(COSMO製 EPC110カウンタチップ使用)を操作し、リミットスイッチにより発生したパルス数を読み込んだ。この回路図を図3-4に示す。2000年には、12bitAD変換ボード(マイクロサイエンス製 ADM-1498BPC)を用いポテンショメータの電圧を読み込み、レンジを±5V、サンプリングレートを1kHzに設定した。GPSは、1999年、2000年ともに、コンピュータに標準搭載されているシリアルポートに接続し、19200bps, 8bit, no parity, 1 stop bitにシリアル通信速度を設定した。GPSからのデータ出力周期は5Hzに設定した。光ファイバジャイロはシリアルポートに接続し、シリアル通信の設定は19200bps, 8bit, no parity, 1 stop bitとした。光ファイバジャイロからのデータ出力周波数は50Hzであった。

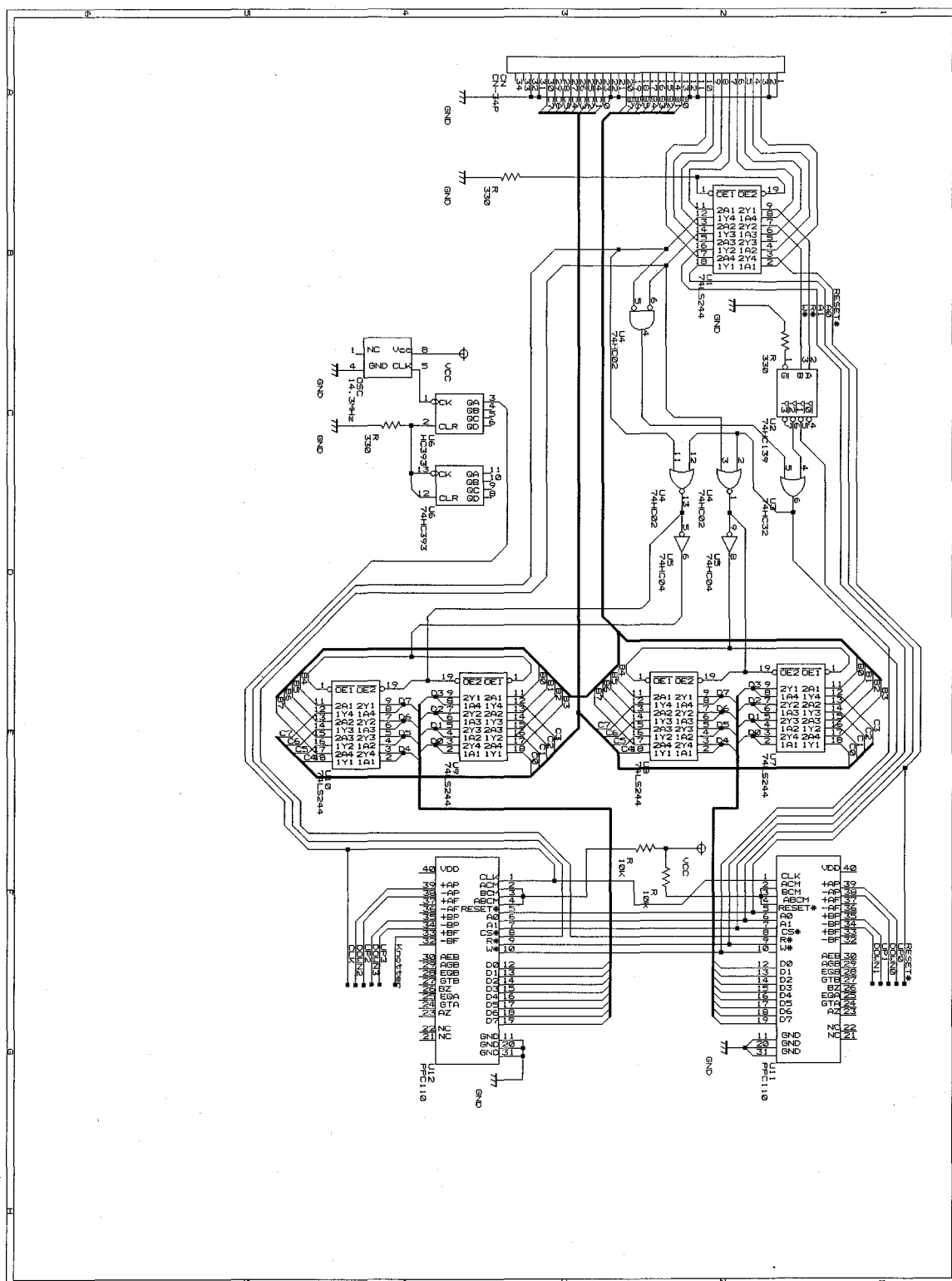


図3-4 カウンタ回路図

3.3 実験方法

3.3.1 1999年の収穫実験

実験を行った場所は、京都大学大学院農学研究科附属高槻農場の10a(50m×20m)のほ場で、条間を33cm、株間を25cmに設定した田植え機により移植されていた。11月4日に、北から南へ向かって4条(1.3m幅)×45m(刈り取り距離)の収穫作業を、西から順に9回行った。ほ場の外周は、コンバインをほ場に入れるためあらかじめ刈り取っておいた。この結束機の一束の大きさは5段階に調整でき、一番小さい大きさになるよう設定した。また結束位置はワラ長さが100cmに適した位置に設定した。コンバインの副変速は走行、標準、低速の3速あり、主変速はHSTである。副変速を標準もしくは低速にセットし、主変速であるHSTレバーを動かすことにより作業を開始し、刈り取り中はなるべくHSTレバーを操作しないようにした。作業速度は0.35～0.63m/sの範囲となった。1回の収穫作業ごとに、ワラを軽トラックに積み込み、トラックスケールまで自走して行き、軽トラックと共に質量を計測した。この質量から軽トラック分の質量を減ずることにより、生ワラの質量を算出した。このうち、3回の収穫作業(3,6,9回目)のワラ質量に関しては、ワラ束ひとつひとつをばねばかり(容量10kg)で計測した。この結果からワラ束の質量分布を求めた。ワラ含水率は、1回の収穫作業ごとに4本サンプリングし、炉乾燥法(105℃ 24時間)により求めた。イネの品種は、ヒノヒカリであった。

3.3.2 2000年の収穫実験

10月24日と26日の2日間にわたって高槻農場の20a(50m×40m)のほ場で行った。1999年と同様にこのほ場は条間を33cm、株間を25cmに設定した田植え機により移植されていた。ほ場の外周を約5m分あらかじめ刈り取っておいた。北から南方向へ3条(1m幅)×45m(刈り取り距離)の収穫作業をほ場の西側から順に行った。この結束機の一束の大きさは5段階に調整でき、一番小さい大きさになるよう設定した。コンバインの副変速は走行、標準、倒伏の3速あり、主変速はHSTである。副変速を走行あるいは標準にセットし、主変速であるHSTレバーを任意の位置に動かすことにより作業を開始し、刈り取り中はなるべくHSTレバーを操作しないようにした。その結果、31回行った刈り取り作業における作業速度は、0.35～0.94m/sの範囲となった。この実験では、ワラ束の

質量はすべて1回の収穫作業ごとに一束ずつ電子天秤(島津製作所製 LDS-30S)にて計測を行った。含水率は、1999年と同様の方法により105℃24時間炉乾燥法で求めた。イネの品種はミナミヒカリであった。

3.4 実験結果

3.4.1 コンバインの平均作業速度

コンバインの収穫作業を行っているときの時間と位置の関係は、GPSデータから求めた。このGPSデータと結束タイミングから、最初のワラ束が結束したときと最後から2番目のワラが結束されたときの位置と時間を求めた。この2点間の直線距離をコンバインの走行距離とし、2点を通過した時間の差から平均作業速度を求めた。

3.4.2 ワラ束の質量分布と含水率

1999年に行ったワラ一束ずつの質量を計測した収穫作業3回分のワラ束の質量と乾燥質量の頻度分布を図3-5に、ワラ質量と作業速度を表3-3に示す。生ワラの質量分布では、3回の実験で異なっている。しかし、乾燥質量の分布では、作業速度が0.41m/sと0.38m/sとほぼ同じである実験3と9の2つの分布では、よく似た分布になっており、危険率5%の範囲で乾燥質量の平均値は同じであった。これは、結束機で束ねたワラ束の乾燥質量は、ワラの含水率の影響を受けにくいことを示している。しかし、個々のワラ束の質量は作業速度の影響を受け、作業速度が速いと重くなる傾向を示した。

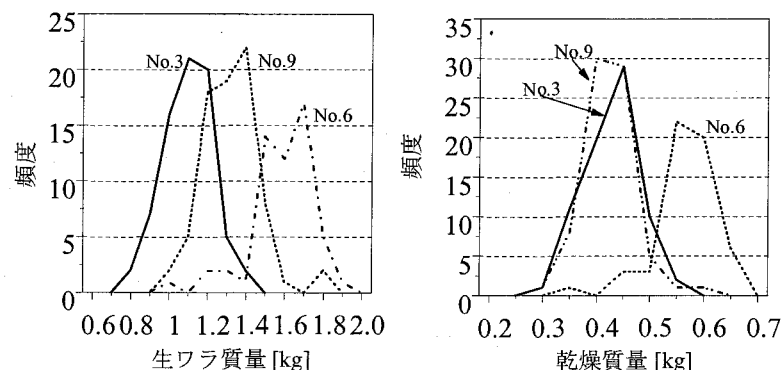


図3-5 ワラ束の質量分布

表3-3 ワラ質量と作業速度

No.	生ワラ質量 [kg]	含水率 [%w.b.]	ワラ乾燥質量 [kg]	走行距離 [m]	作業速度 [m/s]
3	79.6	60.91	31.11	44.01	0.41
6	87.0	64.13	31.19	43.84	0.63
9	101.3	67.54	32.89	45.14	0.38

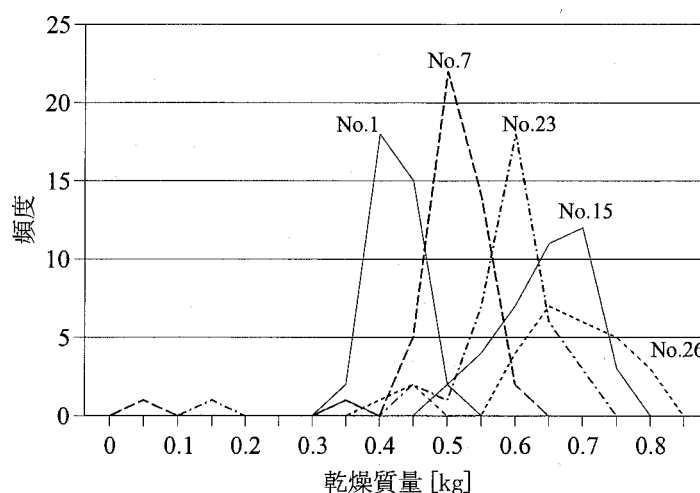


図3-6 2000年ワラ束の質量分布

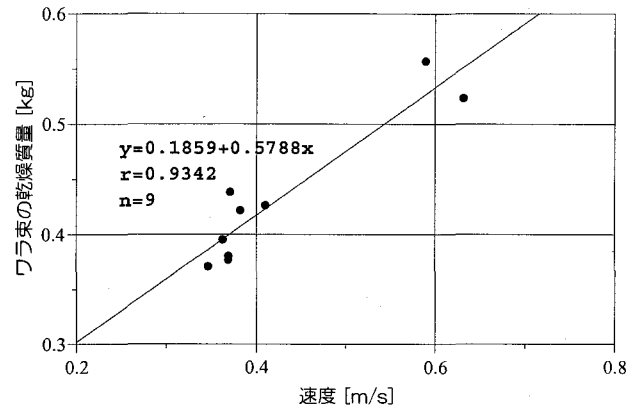
表3-4 2000年ワラ質量と作業速度

No.	生ワラ質量 [kg]	含水率 [%w.b.]	ワラ乾燥質量 [kg]	作業速度 [m/s]
1	54.0	71.0	15.6	0.414
7	81.3	72.2	22.6	0.409
15	87.0	70.6	25.6	0.756
23	75.2	71.5	21.5	0.901
26	78.7	72.7	21.5	0.882

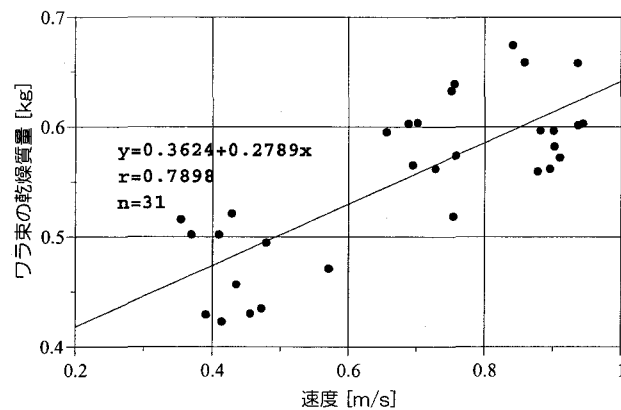
図3-6に5回分の2000年における1走行ごとのワラ束の質量分布を示す。また表3-4にその時にワラ質量と作業速度を示す。このように1走行ごとに異なった質量分布を示す。これは2000年の場合も1999年と同様に走行条件が異なるとそれに伴って異なる質量のワラ束が生成されることを示している。

3.4.3 ワラ束の平均質量と平均作業速度

ワラ束の平均乾燥質量は、1回の収穫作業でできたワラ束の総数でワラ束全部の乾燥質量を除すことにより求めた。コンバインの平均作業速度とワラ束の平均乾燥質量の関係を図3-7に示す。



a) 1999年



b) 2000年

図3-7 作業速度とワラ束の質量の関係

また、直線回帰結果は次のようになった。

$$m = a + bv \quad (3-1)$$

$$a = \begin{cases} 0.1859 & (1999\text{年}) \\ 0.3624 & (2000\text{年}) \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0.5788 & (1999\text{年}) \\ 0.2789 & (2000\text{年}) \end{cases}$$

ここで、 m :ワラ束の質量[kg]

v :作業速度[m/s]

a, b :定数

1999年の結果では、測定したデータ数が9と少なく、横軸方向へのプロットが十分ではないが、相関係数0.9342と作業速度とワラー束当たりの乾燥質量の間に高い相関を示した。同様に2000年の結果も、1999年の結果ほどではないが高い相関がみられ、作業速度0.35～0.94m/sの範囲では、直線関係にあるとみなすことができる。

3.4.4 ワラ質量マップ

結束したワラー束数とGPSデータからワラ質量マップを作成した。まず、得られた回帰式(3-1)を用いてワラー束の質量をコンバインの作業速度から推定する。コンバインの作業速度は、GPSデータのひとつ前の結束動作がなされた位置と現在結束動作がなされた位置の直線距離を走行距離とし、2点間の時間の差で除すことにより求めた。ただし、回帰式に0.3m/s以下の速度を代入することは、大きく外挿することになり推定精度が期待できないため、0.3m/s未満のデータは除去した。また、最初に結束したワラー束は、そのワラー束の作成に必要な走行距離を特定することができないので、最初に結束したワラー束の質量は、マップ作成時のデータから除外した。

ワラー束を収穫した位置は、今回の結束動作を行った位置と前回の結束動作を行った位置の中点とした。次に、ワラ収量を求める面積として、刈り幅(1.3mまたは1m)×5mの範囲とした。したがって、コンバインの走行距離から5mごとには場を分割して、上記の収穫位置で区画内に含まれるすべてのワラー束の質量と作業距離をすべて積算し、区画内のワラ全部の乾燥質量と全作業距離を求めた。5×5mの一区画には20-50束程度のワラー束が含まれることになる。刈り幅は一定とみなせるので区画の収量が算出できる。

$$Y = 10 \times \frac{M}{Lw} \quad (3-2)$$

ここで、 Y :収量[t/ha]

M :全ワラ質量[kg]

L :全作業距離[m]

w :刈り幅[m]

さらに、マップを作成するための区画の位置は区画の図心位置とした。この位置情報とワラの収量データを市販のソフトウェア(Gamma Design Software製GS+ for Windows Version 3.1)に入力することにより、図3-8の収量マップとセミバリオグラムを得た。セミバリオグラムとは、データ間の距離と値の差から計算され空間変動の解析に利用される物である。全作業距離が1mに満たない区画については、ノイズの影響が大きいと考えられるため除外した。このような区画は、調査は場の北や南の端で発生した。空間依存性の指標であるレンジは、セミバリオグラムを球形モデルで近似した場合、1999年の実験では12m、2000年の実験では59mとなった。

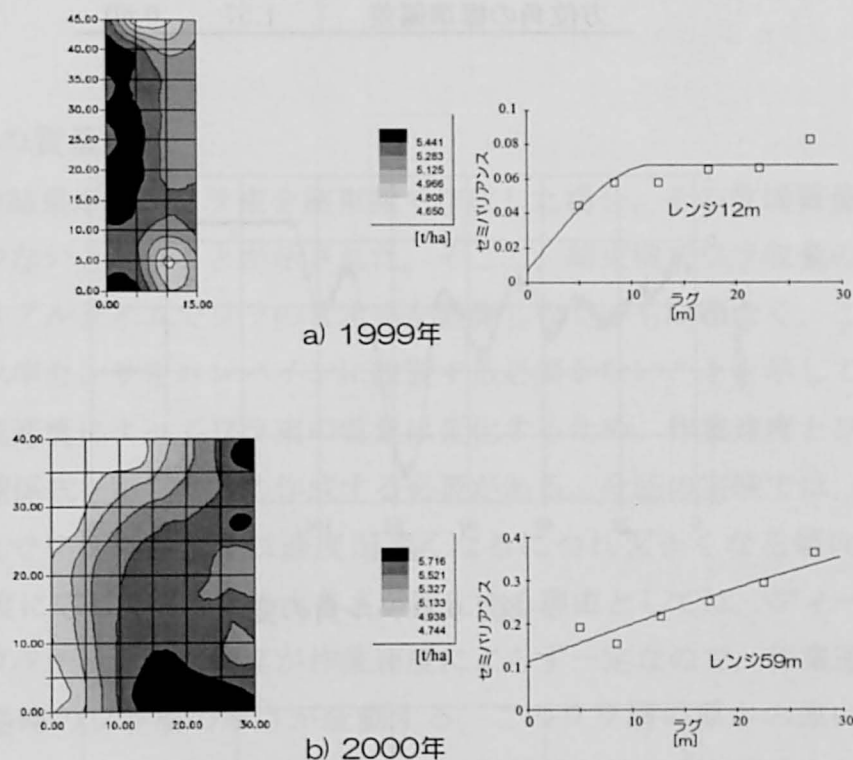


図3-8 収量マップとセミバリオグラム

3.4.5 車両の姿勢変化

車両の姿勢の変化量を表3-5に示す。また、図3-9にロール角、図3-10にピッチ角、図3-11に方位角の変化の一例を示す。ロール角やピッチ角の変化よりも方位角の変化が大きくなっている。ピッチ角は、作業開始時と終了時で大きくなっており、コンバインが発進や停止時に、ピッチングすることを示している。また、作業前と作業後でピッチ角が異なるのは、畦に乗り上げた状態から作業を開始したためであり、通常作業中は 1° 以内の変化に収まっている。方位角

は、稲列に沿ってコンバインを操舵することにより発生する。

表3-5 車両姿勢の変化量 単位 [°]

	最大	最小
ロール角の変化量	4.04	1.09
ピッチ角の変化量	4.29	1.64
方位角の変化量	8.33	2.11
ロール角の標準偏差	0.94	0.15
ピッチ角の標準偏差	0.73	0.25
方位角の標準偏差	1.57	0.40

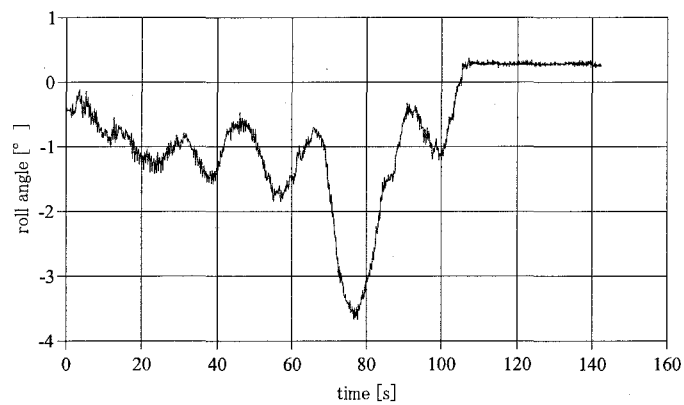


図3-9 ロール角の変化

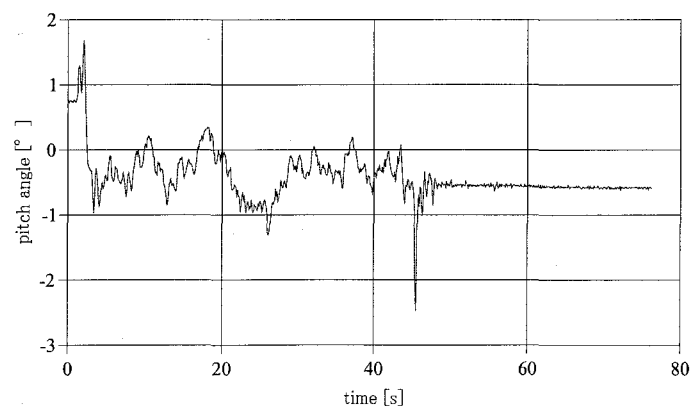


図3-10 ピッチ角の変化

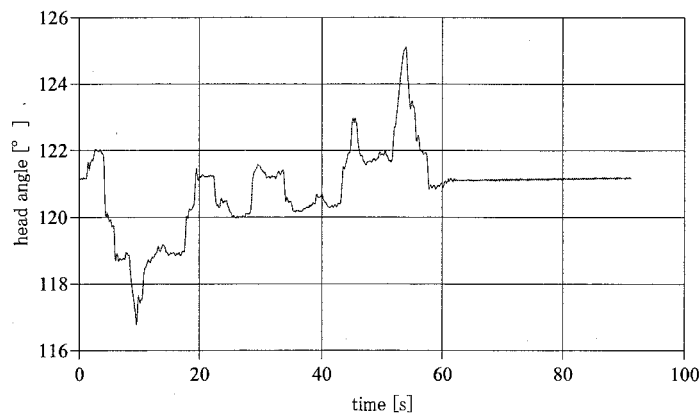


図3-11 方位角の変化

3.5 考察

3.5.1 ワラ束の質量

今回の実験結果から、ワラ束を結束機で作成した場合、その乾燥質量は含水率の影響が少ないということが示された。そこで、結束機でワラ収量の推定を行う場合、リアルタイムでワラの含水率を計測しなくても問題なく、これによりワラの含水率センサをコンバインに設置する必要がないことを示している。しかし、作業速度によってワラ束の質量は変化するため、作業速度とワラ束の乾燥質量の関係式をあらかじめ作成する必要がある。今回の実験では、作業速度0.3m/s以上でワラ束の質量は速度が速くなるにつれ大きくなる傾向を示した。作業速度に応じてワラ束の大きさが変化する理由としては、フィードチェーン及び排ワラチェーンの速度が作業速度によらず一定なので、作業速度変化に応じて搬送時のワラ層の厚さが変動する。このワラ層の厚さの違いがドア（ワラ量検出レバー）へ与える力の大きさに影響があるためと考えられる。作業速度が0.3m/s以下ではどのようなのか求めている。これは、0.3m/s以下で収穫作業を行う場合は少ないので、無視してもよいと判断したことによる。さらに、この関係式は使用するコンバインやイネの品種などでも変動する。したがって、あらかじめ求めた関係式でワラ束の乾燥質量の相対的な変動は分かるが、絶対値は求められない。そこで、収穫作業ごとに、ワラ束をいくつかサンプリングして、作業速度とワラ束の乾燥質量の関係式を補正する必要がある。

次に、今回の実験ではワラ束の体積を直接計測していないため、ワラ束当た

りのかさ密度がどのように変動しているのか不明である。しかしながら、実験結果の3.4.3.節で述べたように、作業速度とワラ束の乾燥質量の関係は高い相関を示したことからかさ密度が作業速度に応じて変化している可能性がある。また、結束機による計測方法では、前述のとおりワラの断面積を一定にしたワラ束を作り、これに要した時間の計測を行っていると考えられる。もしイネの長さに関するパラメータが計測できれば、ワラ束の体積を推定することができる。

以上より、質量は密度と体積の積であるので、かさ密度をコンバインの作業速度から推定し、イネの長さに関するパラメータを計測しながら結束機でワラ束の断面積を一定にすればワラ束の体積が推定できるので、ワラ束の乾燥質量をより正確に推定できるようになるものと考えられる。したがって、今後イネの長さに関するパラメータを計測することが精度向上に有効と思われる。

今回実験を行ったほ場は、田植機により移植を行っているので栽植密度がほぼ一定になっている。そのためワラ束の乾燥質量は栽植密度に独立な変数なのかを調査していない。ワラ束の断面積は栽植密度に無関係であり、排ワラチェーンによって供給されるワラの量に依存していると想像できるが、長さに関するパラメータが変動することにより精度が低下する可能性も捨てきれない。したがって、栽植密度が途中で変化するほ場や直播を行ったほ場においても、ワラ束の乾燥質量を作業速度のみで決定してもよいのか確認する必要があると考えられる。

3.5.2 マップ

区画の収量を計算した後、その値は区画のどの地点の収量であると見なすかについては色々な方法がある。今回の場合は、簡単な計算で求められる区画の図心位置を用いた。この他にも、ワラ束の収穫位置の平均値やワラ束の収穫位置に走行距離の重みをつけた平均値を用いることも可能である。しかし、刈り取り作業で最後の方の区画で、ほ場以外の部分も含んでしまっているような場合を除いては、これらの3つの位置に大きな差違がないと考えられる。

次に、本実験では結束位置の取得のために高精度なRTK-DGPSを利用して、精度良く作業速度と走行距離をGPSデータから求めることができた。今後計測精度がサブメートル程度の安価なDGPSを用いた場合、作業速度と走行距離を

十分な精度で求めることができるか確認する必要がある。もし、位置の計測精度が悪化する場合には、マップを作成する場合の区画の大きさをより大きくすることで対処できるものと考えられる。速度の計測精度が悪化の場合は、1束ずつ走行速度を求めるのではなく何束か結束するたびに速度を計算するか、GPS以外の速度計測装置を搭載する必要があると考えられる。また将来、高精度なGPSが搭載された収量モニタ付きコンバインが普及したとすると、結束タイミングを取得するセンサを追加するだけで、容易にワラ質量マップが作成できるようになる。

最後に、ワラ質量のレンジは1999年と2000年で異なっているが、これは調査を行ったほ場が異なるだけでなく、土壌や作付けなどのパラメータが違うためである。このようなほ場内での変動がみられる原因を知るには、土壌化学物質やほ場高低差などを測定しワラ質量と比較する必要がある。またワラ質量の変動が同じほ場で毎年どのように変化しているか追跡調査することは大変興味深く今後重要な研究である。今回の装置を利用すれば、このような年次変化を通常の収穫作業で取得することも可能になるであろう。

3.5.3 車両の姿勢変化と位置補正

GPSアンテナはコンバインの上に乗っているため、GPSアンテナの位置からカッターの位置への変換はコンバインの姿勢に影響を受ける。今回の実験では、GPS位置からカッター位置への変換時に方位角方向にのみ補正を試みている。1回の作業で方位角の変動は最大 8° になっており、方位角による補正は有用であると考えられる。ピッチングの変動は、最大 4° となっているが、コンバインの発進や停車に大きく変動し、実際の刈り取り作業中の変動は 1° 程度であることから、ピッチ角による位置補正は3cm程度となる。これはRTK-DGPSの精度と同程度であることから、あまり効果がないと考えられる。ロール角の変動は、人の足跡や田植え機の走行跡などのほ場の細かい凹凸や切り株を踏むことによって発生しているものと考えられる。1回の作業で最大 4° の変動が確認されたことから、ロール角による刈り位置補正は10cmほどになり効果があると考えられる。ただし、ロール角を取得するためにジャイロを搭載することを考えた場合、最大 4° の変動を十分観測可能な精度を持つジャイロが必要となる。このようなジャイロは高価になる可能性がある。位置検出精度

が10cmより長いGPSを搭載する場合は、ロール角で位置補正をおこなっても効果は期待できないと考えられる。

3.6 結言

自脱コンバインの結束機の動作をモニタすることによりワラの乾燥質量マップを作成する装置の試作し、水稻のワラ収量マップを作成した。主な内容と結果は次のとおりである。

1) コンバインで収穫しながら結束したワラ束の質量分布を作成し、その分布に及ぼすワラ含水率の影響について検討した。この結果ワラ含水率は結束機で結束する一束のワラ束の乾燥質量に影響は見られなかった。

2) 作業速度はワラ束質量に影響があり、0.35-0.94m/sの範囲では直線関係とみなすことができた。

3) 作業速度を考慮に入れてワラ質量マップを作成することができた。

参考文献

- 1) 李 忠根・飯田訓久・梅田幹雄・下保敏和：水田におけるモミとワラの収量マップ，農業機械学会誌，61(4), 133-140, 1999
- 2) 下保敏和・李忠根・飯田訓久・梅田幹雄：水田におけるワラ量マップの作成，第59回農業機械学会講演要旨集，317-318，2000
- 3) 李忠根・矢内純太・下保敏和・飯田訓久・梅田幹雄・小崎隆・松井勤：水田におけるほ場情報マップの作成，農業機械学会誌，63(5), 45-52, 2001
- 4) 矢内純太・李忠根・梅田幹雄・小崎隆：ジオスタティスティクスを用いた水田における土壌化学特性値の空間変動解析，日本土壌肥料科学雑誌，71(4), 520-529, 2000

4章 水稻における収量と生育量マップ

4.1 はじめに

イネの生長を作物学的な分析を行い精密農業の手法により制御するには、より多くの正確なほ場の情報があることが望ましい。そこで土壌化学成分やイネの生育量や収量を計測する必要がある。ここでイネの収量とは、モミ収量だけでなく、ワラ収量も関係する。李ら(李忠根他, 1999)は、あらかじめほ場をいくつかの区画に分割して、その区画ごとにコンバインで刈り取ることによりモミとワラの量を計測した。また、李ら(李忠根他, 2000)は、歪みゲージによるインパクト式収量センサを自脱コンバインの揚穀オーガの排出口に設置して、モミの流量を収穫作業と同時に計測し、収量の空間変動を示す収量マップを作成した。同様に大黒ら(大黒正道, 1998)は、光電センサを用いた収量センサを用いてモミ流量の検出を行った。矢内ら(Yanai et al., 2000a)は、一筆100×50mのほ場を10x5mの等面積の100区画に分割して、各区画から土壌をサンプリングすることにより、pH、全炭素含量、全窒素含量、炭素窒素比、可給態窒素、交換性カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウムの変動を調査した。土壌や肥料から吸収された養分は、モミの生産に使われるが、収穫されないワラの生産にも使用されることになる。ワラ量の調査を行なうことにより、どの程度の養分が吸収されたか知ることが出来ると考えられる。また、将来バイオマス資源としてワラを利用することが考えられる。したがって、水田における精密農業を実現するにあたって情報を収集するため、モミとワラの収量を2年間にわたり同一ほ場で計測を行なった。このデータをもとに、ジオスタステックス手法を用いてワラ収量の空間依存性の評価を行い、セミバリエーションによる空間依存性を考慮した補完方法であるクリギングによりマップの作成を行うことにした。セミバリオグラムラグの大きさにより、ワラの収量を計測する場合の最適な区画サイズを推定することが可能である。また、ワラ生産量の制御は生育途中のイネの状態をもとに行うことになる。そこで、イネの生育ステージごとのSPAD値、草丈、分けつ数とワラ収量の関係についても調査することにした。

4.2 実験方法

4.2.1 実験ほ場

実験は、京都大学大学院農学研究科附属高槻農場の100m×50m、0.5haの水田にて行なった。このほ場は、北緯34° 51'，東経135° 38' に位置し、年平均気温15.8℃，年間降水量1240mm，灰色低地土土壌，植壤土である。イネの品種はミナミヒカリであった。

このほ場を10m×5mの大きさの100区画に分割しその区画ごとにデータを取得した。1999年は、基肥(NKP, 3kg/10a)，穂肥(NK, 3kg/10a)ともに均一に散布を行った。2000年は、基肥(NKP, 3kg/10a)はほ場全体に均一に、穂肥はほ場の西半分は均一(NK, 3kg/10a)に、東半分は可変(NK, 0-5kg/10a)に散布を行なった。栽培管理状況を表4-1に示す。

可変施肥量は、施肥前に1区画から6株サンプリングすることにより求めた植物体の窒素保有量をもとに決定した。窒素保有量が多いほど施肥量が少なくなるようにし、窒素成分に換算すると最大を5kg/10a，最小を0kg/10aとなるよう6段階とした。植物体の窒素保有量の測定は京都大学大学院農学研究科栽培システムの稲村達也助教授が行った。計測方法は、CNコードにより植物体の保有する窒素濃度を検出し、窒素濃度と植物体の全質量を掛け合わせることで窒素保有量とした。図4-1に窒素保有量マップを、図4-2に窒素保有量のセミバリオグラムを示す。窒素保有量をもとに決定した可変施肥計画マップを図4-3に示す。また、施肥機として市販の粒状散布機(初田工業製 GS-MPV8)を改造したものを用いた。施肥の様子を図4-4に示す。

表4-1 ほ場管理及び調査日程

調査内容	1999年	2000年
播種	5月6日	5月9日
移植	6月7日	6月9日
生育調査 1回目	7月12日	7月25日
生育調査 2回目	7月30日	8月7日
穂肥	7月30日	8月9,10日
生育調査 3回目	8月24日	8月25日
出穂	9月8日	9月8日
生育調査 4回目	9月14日	9月8日
生育調査 5回目	10月21日	10月17日
全量調査	10月29日 ~11月3日	10月27~31日

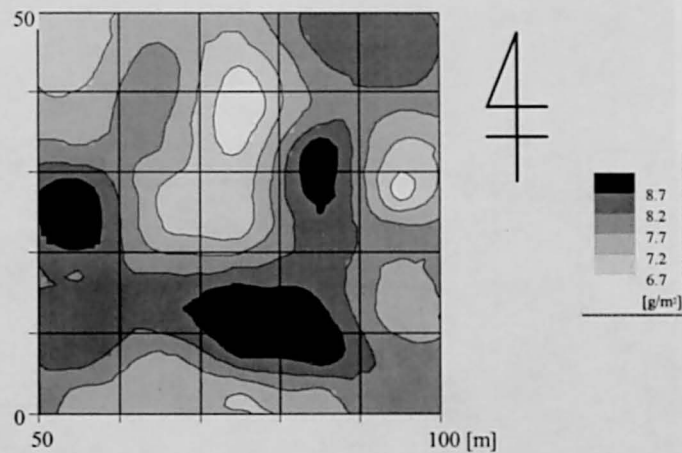


図4-1 窒素保有量マップ

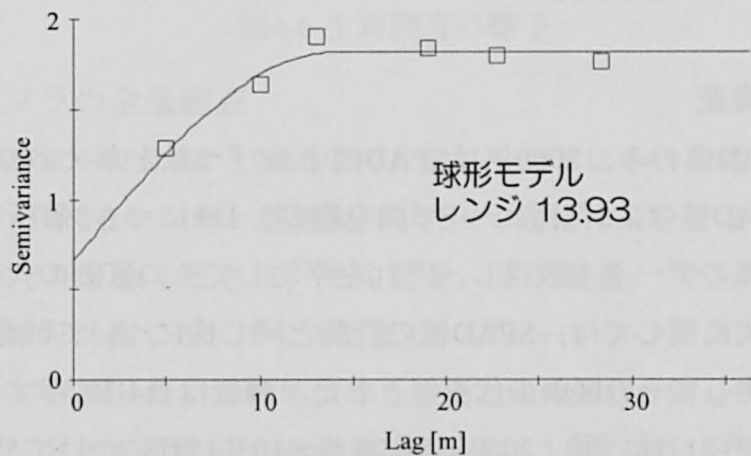


図4-2 窒素保有量のセミバリオグラム

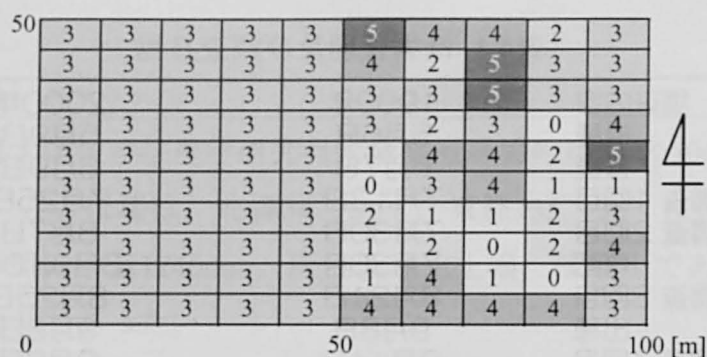


図4-3 可変施肥量計画マップ



図4-4 可変施肥機を用いた穂肥施用作業

4.2.2. 生育量調査

1999年はSPAD値のみ、2000年はSPAD値と分けつ数と草丈の3項目について計測した。SPAD値は、1区画につき5株を選び、1株につき3個所を計測することにより計15点のデータを取得し、それを平均してその区画の代表値とした。分けつ数、草丈に関しては、SPAD値の計測と同じ株について計測を行い、5点のデータを平均してその区画の代表値とした。調査は表4-1に示すように、1999年7月12日～10月21日に5回、2000年7月25日～10月17日にかけて5回、計10回行った。生育調査株の配置状態を図4-5に示す。最初に棒を立て、毎回棒の周辺5株を計測した。図4-6に生育調査の様子を示す。

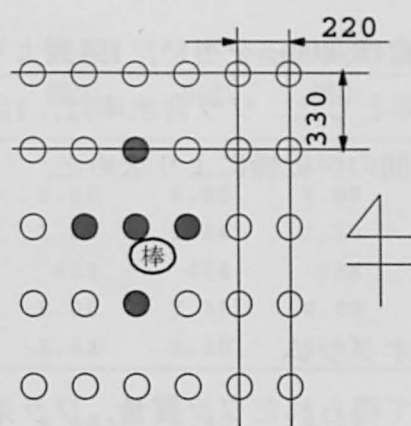


図4-5 生育調査株



a) SPAD

b) 草丈

図4-6 生育調査の様子

4.2.3. モミとワラの全量調査

1999年10月29日～11月3日と2000年10月27日～31日にかけて結束機付きの4条刈り自脱コンバイン(ヤンマー農機製, Ee-8)にて収穫作業を行なった。1区画内をコンバインで刈り取るごとに、モミ質量、ワラ質量、ワラ束数、モミ含水率、ワラ含水率を計測した。モミの質量は、グレーンタンクにたまったモミをモミ袋に移して計測した。1999年は李ら(Lee et al. 2001)と同じデータであり、2000年にはロードセル式電子天秤(島津製作所製, LSD-30S, 分解能0.01kg)により計測した。ワラ質量は、コンバインの結束機にて結束されたワラ束を、1999年は軽トラックに載せ車ごと質量を計測した。分解能は0.5kgであった。2000年はモミと同様にロードセル式電子天秤にて一束ずつ計測した。モミの含水率は

単粒水分計(静岡精機製, CTR-800E)を用い, 1区画より100粒サンプリングして平均値をその区画の含水率とした。ワラ含水率は, 1区画より4本のワラをサンプリングして, 105℃24時間の炉乾燥により求めた。

4.3 実験結果と考察

4.3.1. マップとセミバリオグラム

図4-7に全量調査によって得られたワラ質量, ワラ束数, モミ質量, ワラ1束あたりの質量, モミ・ワラ比のマップとセミバリオグラムを示す。また図4-8に2000年の均一施肥区のみマップとセミバリオグラムを, 図4-9に2000年の可変施肥区のみマップとセミバリオグラム示す。図4-10に2000年の生育量調査によって得られたSPAD, 草丈, 分けつ数のマップとセミバリオグラムを示す。全量調査によって得られた項目の空間依存性の指標値を表4-2に, 生育量調査によって得られた項目の空間依存性の指標値を表4-4に示す。また, 各変数の変動量を表4-3に示す。

これらのマップやセミバリオグラムの作成にはGS+ for Windows Version 3.1というソフトウェアを用いた。セミバリオグラムにおいて回帰式をフィティングする場合, ラグが大きくなるとデータ数が減少し精度上問題があるので, 最大ラグの60%程度までのデータを用いた。そのため今回の実験ではサンプリングデータの最大ラグが100mであることから, 60m前後のラグまでデータ処理を行った。したがって, 計算上は60m以上のレンジが求まる場合があるが, 現実に即したものではないと考えられる。

表4-2 空間依存性の指標値

	モデル	ナゲット	シル	レンジ	決定係数
1999年					
ワラ質量	指数	0.104	0.385	13.5	0.482
ワラ束数	指数	0.009	0.018	112.2	0.666
ワラ1束質量	指数	1693	3279	30.3	0.382
モミ質量	球形	0.066	0.212	50.7	0.845
モミ・ワラ比	球形	0.002	0.01	7.5	0.104
2000年					
ワラ質量	球形	0.057	0.449	12.7	0.457
ワラ束数	指数	66.9	189.3	81.9	0.779
ワラ1束質量	指数	463	1825	31.5	0.649
モミ質量	球形	0	0.195	13.8	0.718
モミ・ワラ比	指数	0.002	0.011	9.3	0.223

表4-3 ワラとモミの変動量

	最大	平均	最小	個数	変動係数 [%]
1999年					
ワラ質量[t/ha]	8.48	6.80	4.88	92	9.53
ワラ束数[個/m ²]	1.82	1.44	1.18	94	8.20
ワラ1束質量[g/個]	653	474	338	90	10.52
モミ質量[t/ha]	8.06	7.39	6.09	94	5.80
モミ・ワラ比	1.41	1.10	0.91	86	8.74
2000年					
ワラ質量[t/ha]	8.48	6.40	4.69	100	10.35
ワラ束数[個/m ²]	1.88	1.52	1.22	100	8.69
ワラ1束質量[g/個]	534	423	295	100	9.99
モミ質量[t/ha]	8.82	7.29	6.10	99	6.38
モミ・ワラ比	1.59	1.15	0.91	99	9.49

表4-4 生育量の空間依存性の指標値

測定項目	測定回数	モデル	ナゲット	シル	レンジ	決定係数
SPAD	1	指数	0.531	2.400	15.9	0.271
	2	球形	0.978	2.567	104.9	0.823
	3	指数	0.635	2.574	19.2	0.484
	4	指数	1.085	2.171	25.1	0.846
	5	球形	2.929	5.859	17.9	0.799
草丈	1	指数	1.183	7.614	8.1	0.073
	2	球形	2.630	6.194	89.9	0.731
	3	指数	2.920	10.430	10.8	0.430
	4	球形	1.650	9.100	8.1	0.191
	5	球形	2.190	10.590	7.0	0.118
分けつ数	1	球形	4.430	8.861	26.3	0.855
	2	指数	1.850	7.808	6.6	0.054
	3	球形	0.599	3.270	5.0	0.000
	4	指数	1.999	3.999	76.5	0.811
	5	球形	0.545	2.993	5.0	0.000

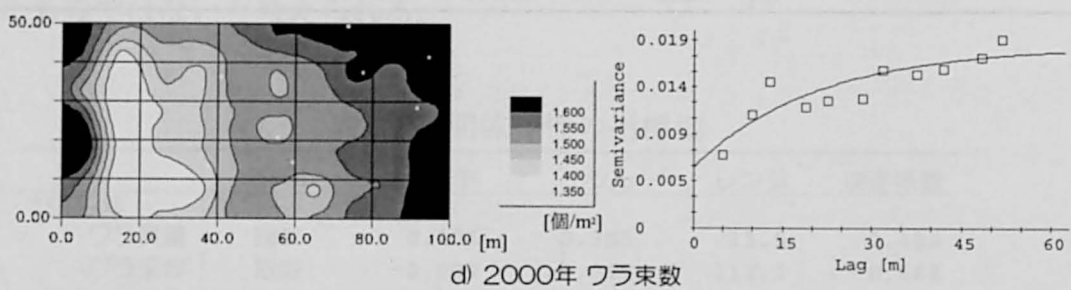
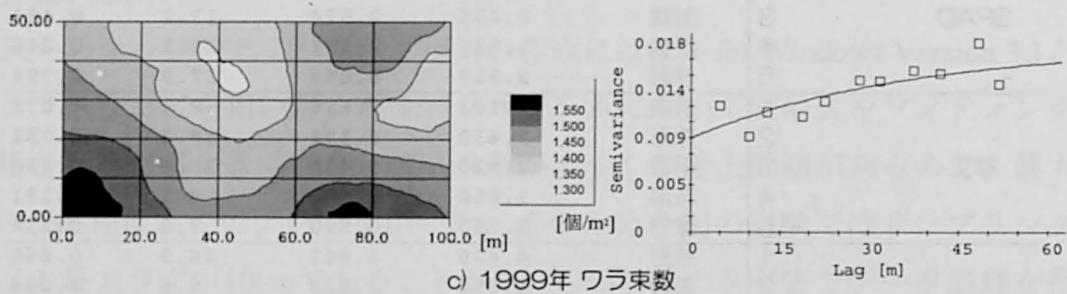
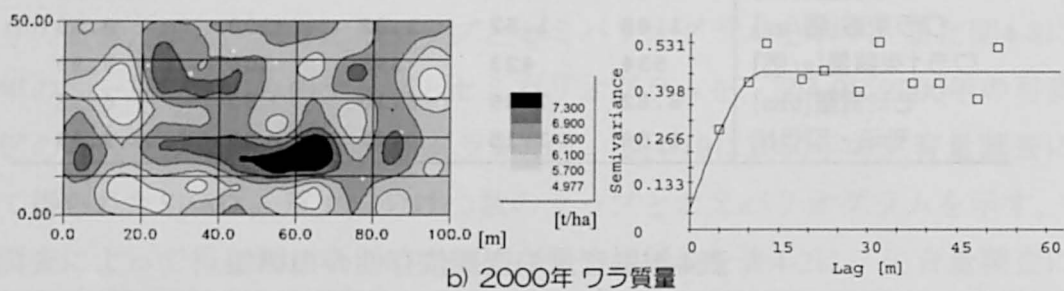
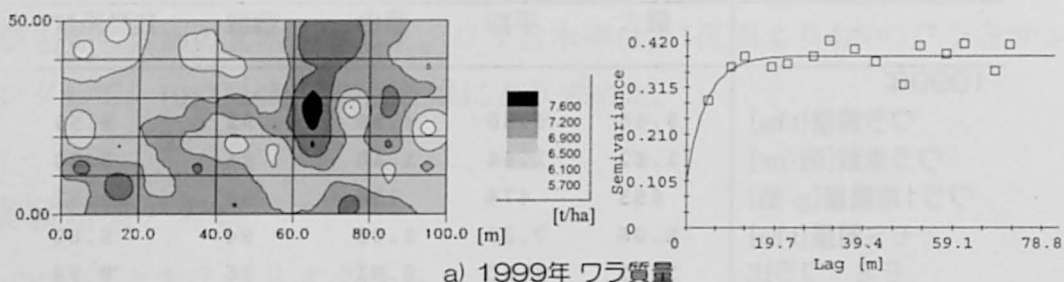
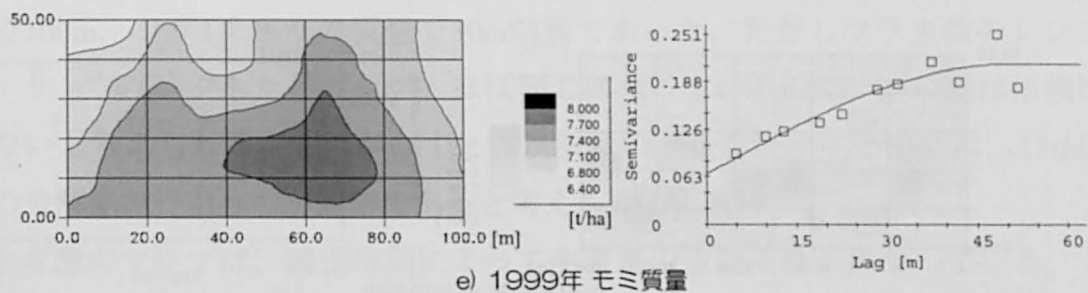
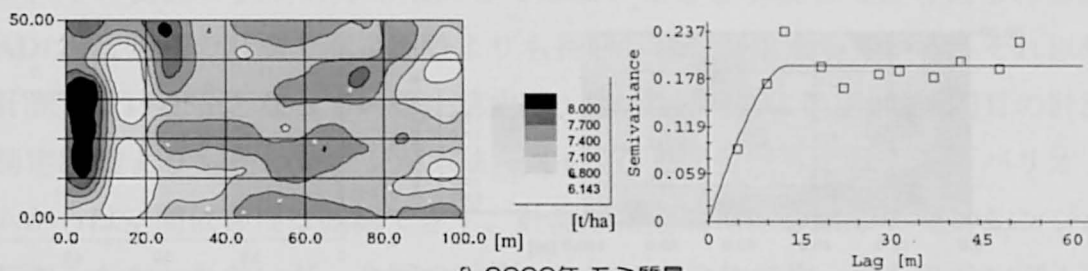


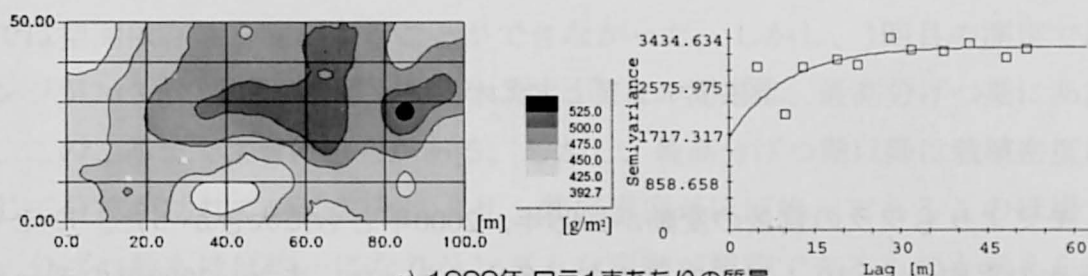
図4-7 マップとセミバリオグラム



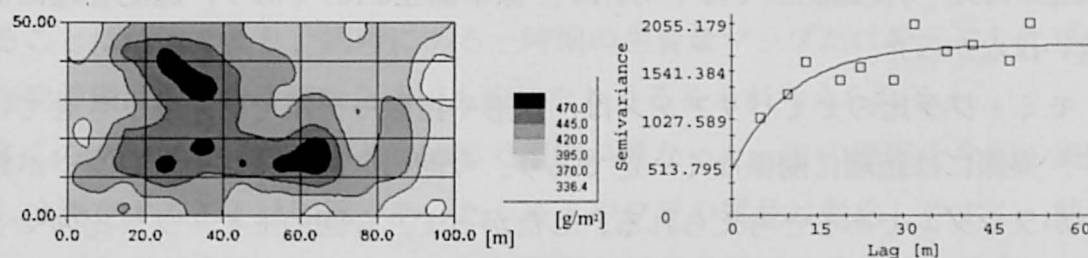
e) 1999年 モミ質量



f) 2000年 モミ質量



g) 1999年 ワラ1束あたりの質量



h) 2000年 ワラ1束あたりの質量

図4-7 マップとセミバリオグラム

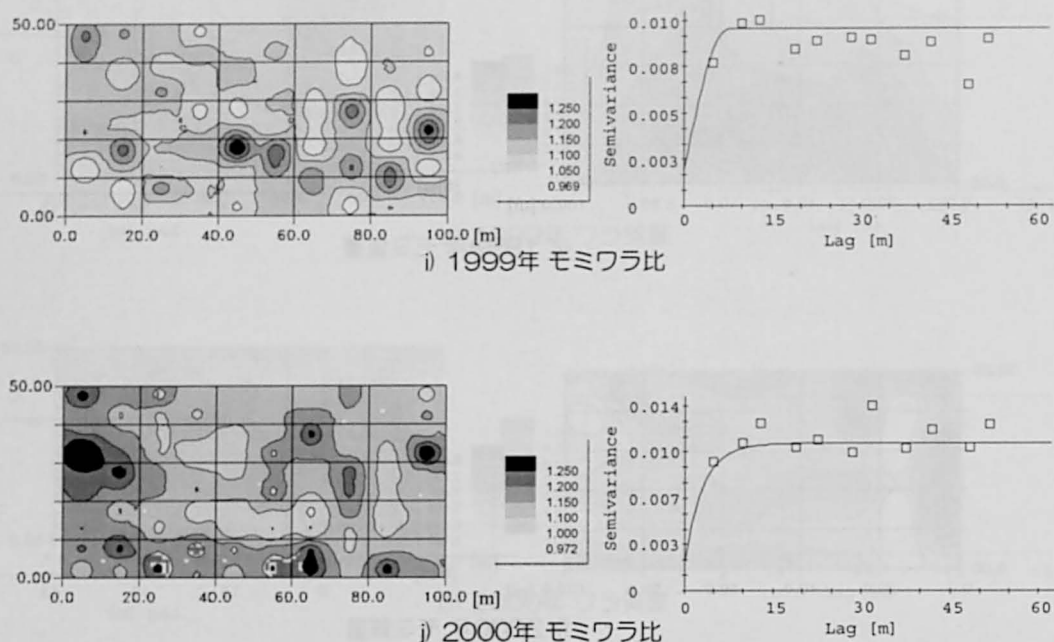


図4-7 マップとセミバリオグラム

モミよりもワラの質量の変動が1999年、2000年ともに大きかった。モミ・ワラ比の平均は、1.10、1.15でモミの方が多めであった。また、2000年のデータを均一施肥区と可変施肥区で別々に扱った場合、均一施肥区では平均1.15，標準偏差0.109，可変施肥区では平均1.14，標準偏差0.107であり，施肥管理による違いはなかった。

モミ・ワラ比のセミバリアンスは，球形や指数モデルでフィットさせているが，実際には距離に関係なく一定であり，今回の区画サイズよりレンジが短かいランダムであると考えられる。したがって，今回のモミ・ワラ比のマップはあまり意味を持たず，ほ場全体が一定値で場所によりランダムなノイズが乗っているとみなされる。

モミ質量のセミバリアンスは，2000年と1999年で大きく異なっている。これは何が影響したのかは不明であるが，2000年の均一施肥区のみでセミバリオグラムが，1999年よりも2000年に類似していることから，可変施肥による影響ではない可能性が高いと考えられる。ワラ質量やワラ束数では，1999年と2000年

で、形状にあまり違いは見られなかった。レンジは、ワラ質量で13m、ワラ束数で100m、ワラ1束当りの質量で30m前後であった。ただしワラ束数のレンジは、サンプリングした最大ラグとほぼ同じになっているので、この値は信頼性がないと考えられる。したがって、ワラ質量の収量を計測する場合は、13m以下の分解能で行なうのが適当であると考えられる。

生育量のマップは、調査時期によって生育量の空間変動が異なっている。これは、植物の生育段階において、生長に大きな影響を与える要因が変化していくが、その要因の空間的分布は同じではないことを示唆してと考えられる。SPADは、2回目の計測で測定距離よりも長いレンジが求まっている。それ以外の計測では15-25mとなっている。草丈は、SPADと同様に穂肥前の2回目の計測で測定距離よりも長いレンジが求まっている。2回目以外では、セミバリオグラムからは空間依存性は確認できず、計測した間隔である5mより短いレンジが存在するかもしれないが、今回の計測からはほ場全体で均一でありランダムにばらついていると見なすことができる。分けつ数は、2回目、3回目および5回目では空間依存性を確認することができなかった。しかし、1回目の測定ではレンジが26.3mの空間依存性がみられた。1回目の測定は、最高分けつ期にあたり、このころまで生育にむらがある。しかし、最高分けつ期以降は栽植密度に応じて分枝が枯れていくことにより、栽植密度がほぼ均一であるこのほ場では、分けつ数もほぼ均一になりランダムな変動が観測できるものと考えられる。生育量のマップは、調査時期によって変化することから、ある一時期の生育量マップから単純に絶対値だけが変化すると仮定して最終的なマップを推測することは危険であり、同時にある一時期の生育量マップだけを元にした単純な施肥管理は最適な管理から遠いものになりうることを考えられる。

多くのマップで、1999年と2000年で傾向が異なった。この原因を今回の実験からは決定することは困難であった。モミやワラの質量は変化しやすく、前年のマップを利用するのではなく、毎年計測を行う必要があることを示唆している。また、収量の変動の原因を調べることなく前年の収量だけで可変施肥を行うことは危険であると考えられる。収量の変動の原因を推定し、それが可変施肥で補正可能であるかを見極める必要がある。

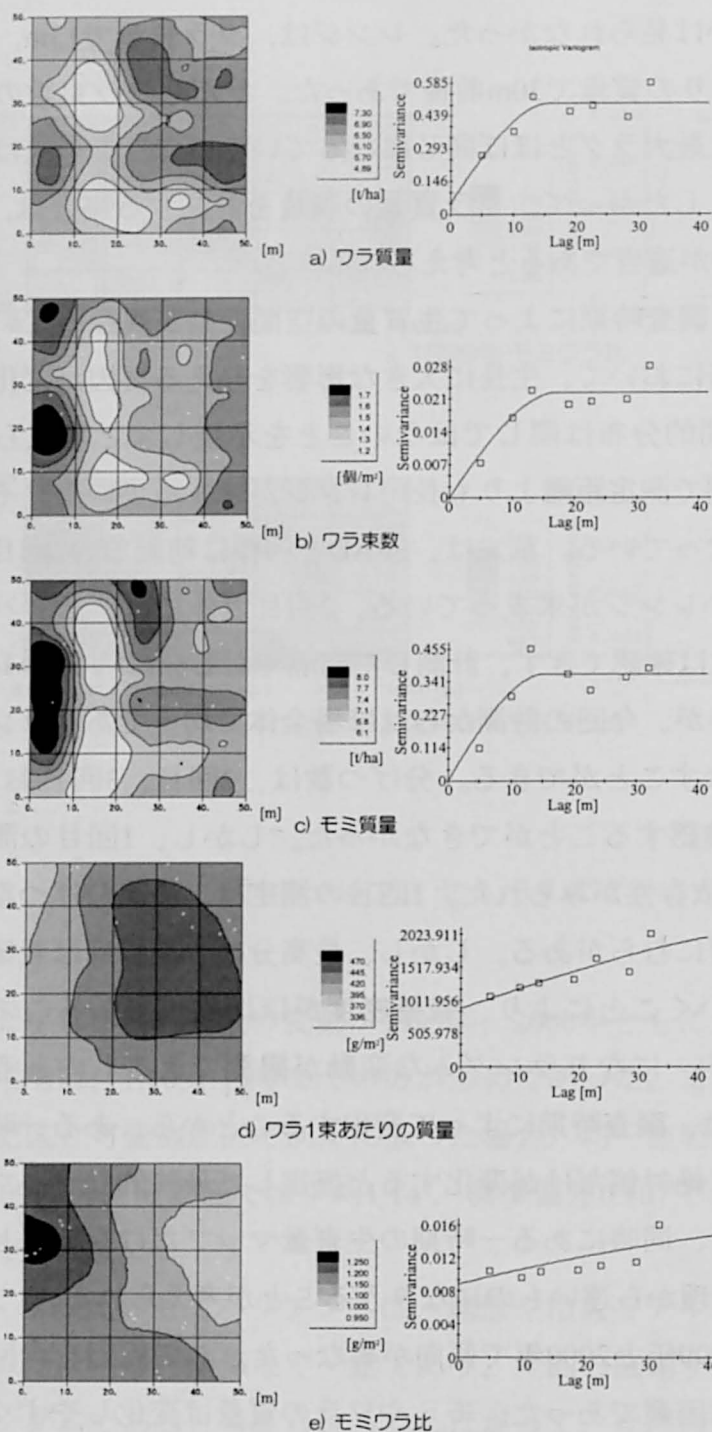


図4-8 2000年均一施肥区のマップとセミバリオグラム

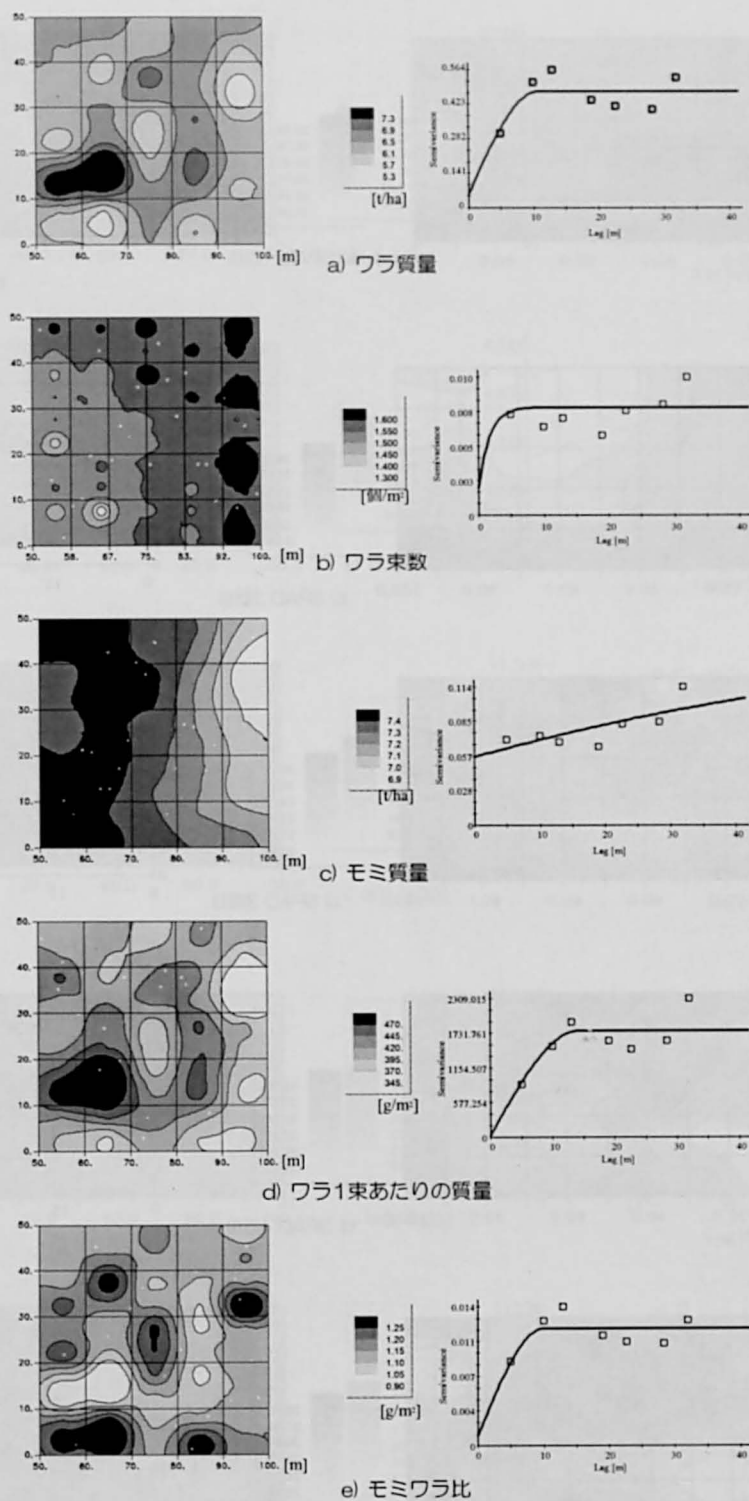


図4-9 2000年可変施肥区のマップとセミバリオグラム

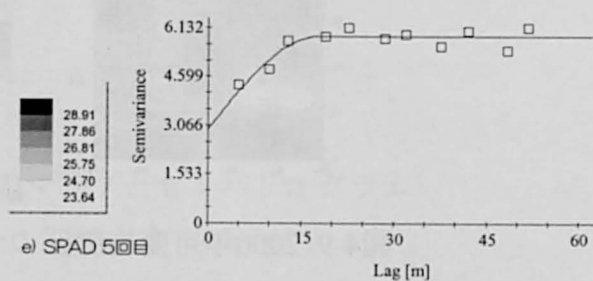
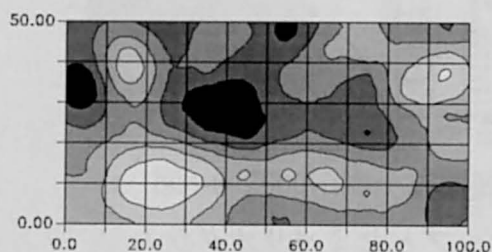
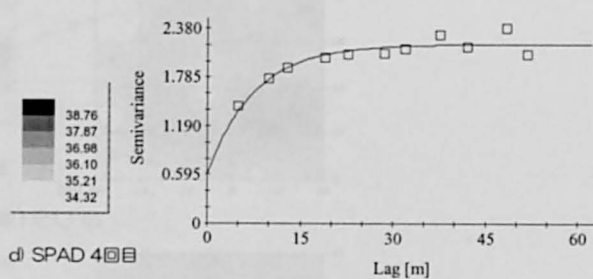
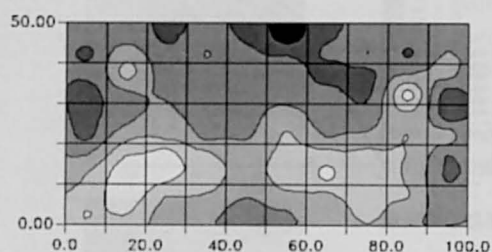
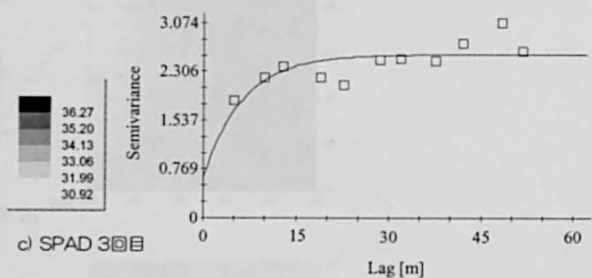
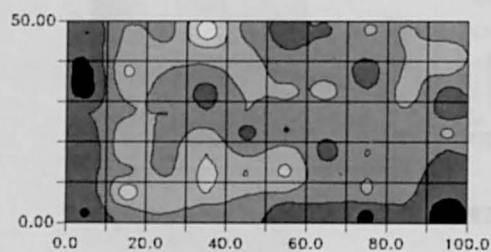
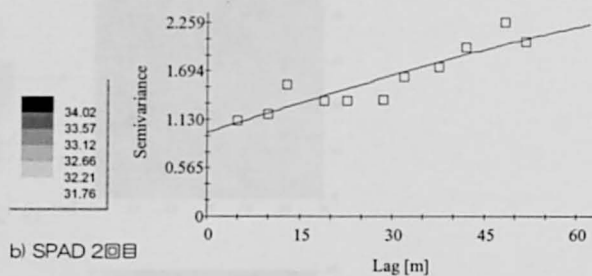
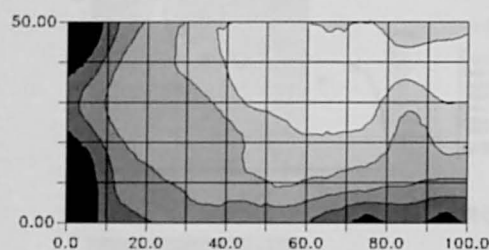
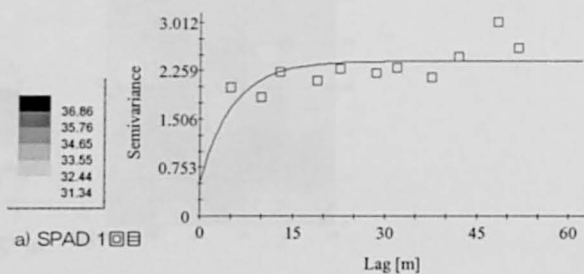
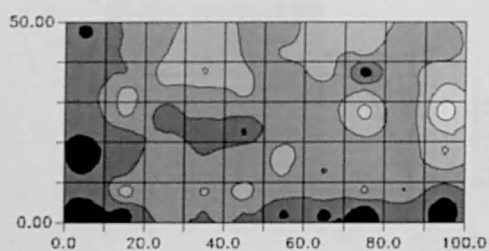
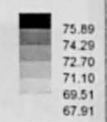
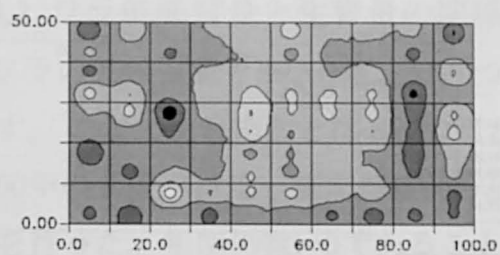
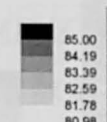
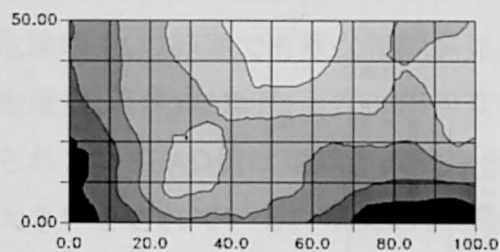
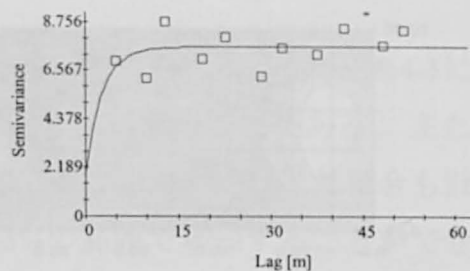


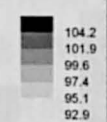
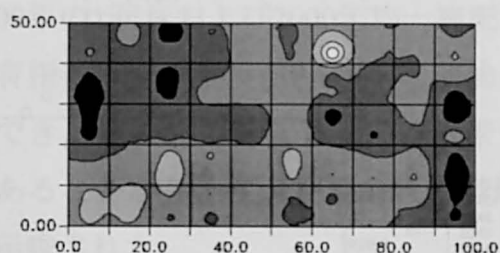
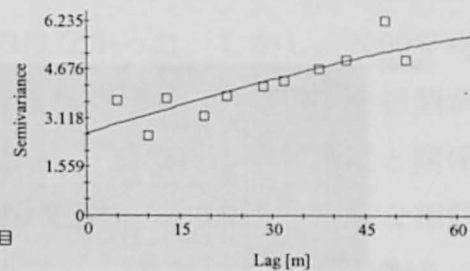
図4-10 生育量のマップとセミバリオグラム



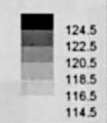
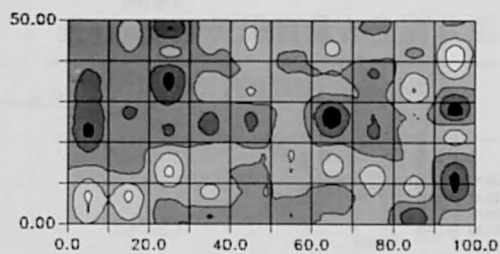
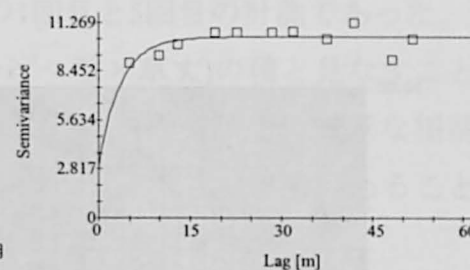
f) 草丈 1回目



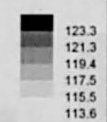
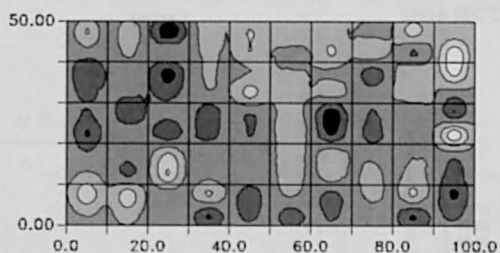
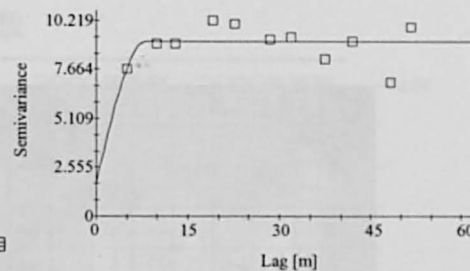
g) 草丈 2回目



h) 草丈 3回目



i) 草丈 4回目



j) 草丈 5回目

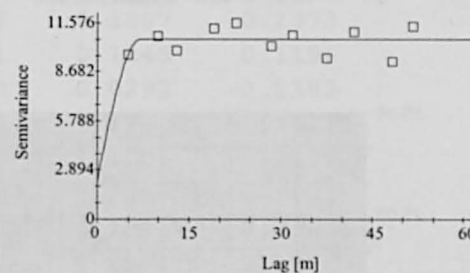


図4-10 生育量のマップとセミバリオグラム

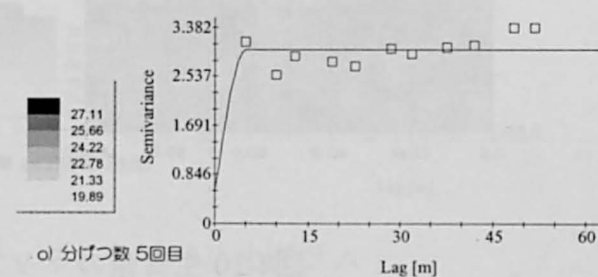
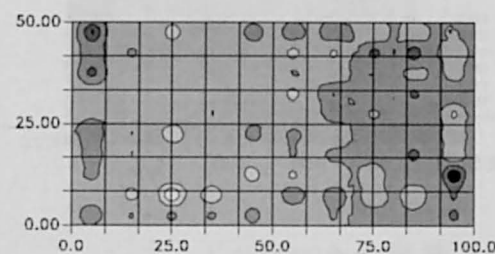
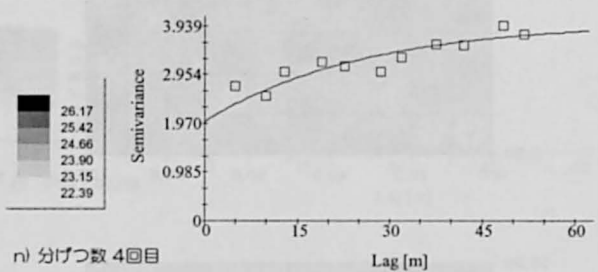
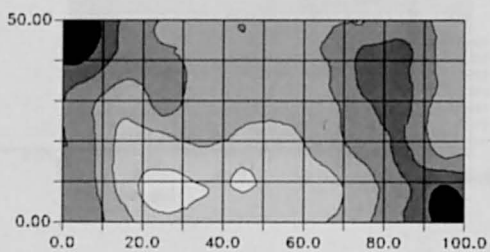
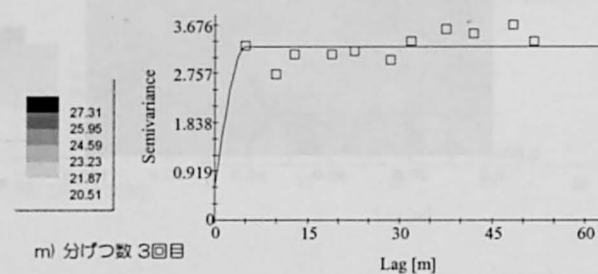
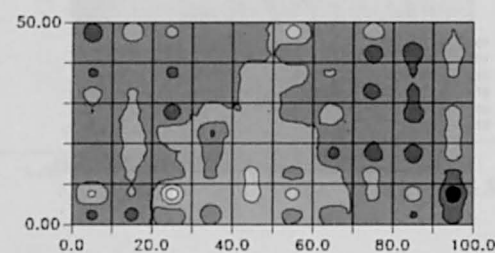
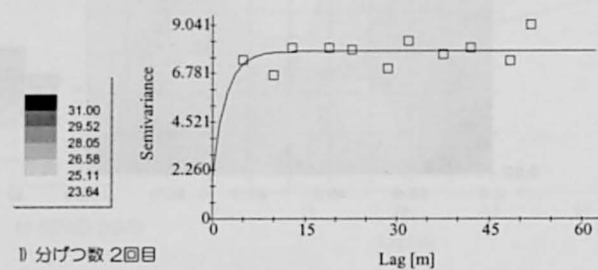
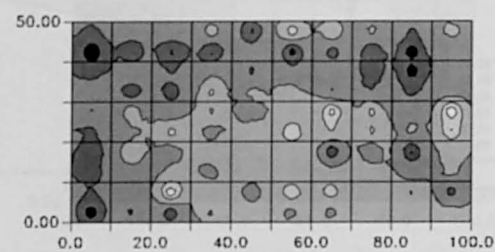
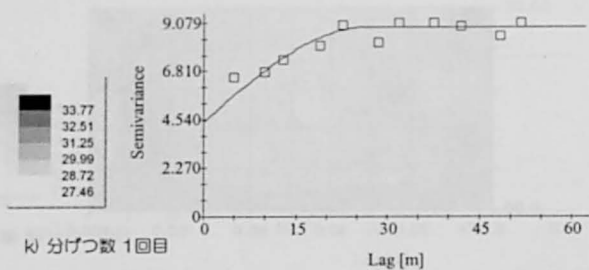
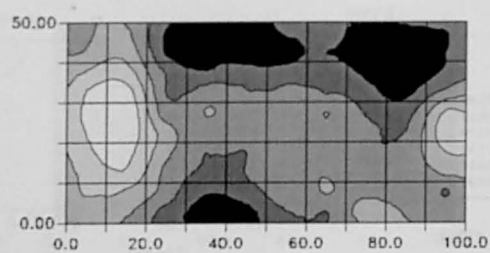


図4-10 生育量のマップとセミバリオグラム

4.3.2. ワラ乾燥質量と生育量の関係

ワラの乾燥質量とSPAD値、分げつ数、草丈、生育指数の相関係数を表4-5に示す。ここで生育指数とはSPAD値と分げつ数と草丈の積のことである。また2000年のデータは均一施肥区(西側)と可変施肥区(東側)の2つに分けた場合も計算を行った。相関係数 $r=0$ であることを危険率5%の範囲で棄却することができるものは表中に下線を引いた項目である。SPAD値では、1999年および2000年で危険率5%の範囲で有意な相関が見られるものはなかった。しかし、2000年均一施肥区(西側)で5回目と2000年可変施肥区(東側)で4回目の2つで有意な相関が見られた。SPAD値は葉緑素濃度を示す数値であり、植物体の窒素濃度と関係が大きいとされている。草丈および分げつ数では危険率5%の範囲で有意な相関が見られるものはなかった。生育指数では危険率5%で有意なものは3つあり、2000年の1回目および2000年均一施肥区(西側)の1回目と5回目の計測であった。生育指数は窒素濃度(SPAD値)と植物体体積(分げつ数×草丈)の積と見なすことができ、植物体の保有している窒素量と関係がある。1回目調査で有意な相関があることから、生育初期の状態が最終的なワラの量に大きな影響があることが示唆された。

表4-5 ワラ乾燥質量と生育状態の相関係数

測定項目	測定回数	1999年	2000年	2000年西側 (均一施肥区)	2000年東側 (可変施肥区)
SPAD	1	0.0325	0.1462	0.1684	0.1444
	2	0.1343	0.1071	0.1684	0.0786
	3	0.1061	0.0976	0.2371	-0.0805
	4	-0.0410	-0.0898	0.1370	<u>-0.2983</u>
	5	0.1892	0.1436	<u>0.2900</u>	-0.0183
草丈	1		0.1483	0.1867	0.1073
	2		0.1201	0.1245	0.1196
	3		-0.1178	0.0292	-0.2382
	4		-0.0638	0.1262	-0.2327
	5		-0.0334	0.1004	-0.1495
分げつ数	1		0.1917	0.2626	0.1021
	2		0.1668	0.1025	0.2360
	3		0.1162	0.0974	0.1260
	4		0.1897	0.2413	0.1314
	5		0.0866	0.2151	-0.0356
生育指数	1		<u>0.2328</u>	<u>0.3149</u>	0.1500
	2		0.1895	0.1475	0.2551
	3		0.0815	0.1801	-0.0227
	4		0.0913	0.2634	-0.0918
	5		0.1260	<u>0.3147</u>	-0.0582

2000年西側(均一施肥区)ではすべて正の相関を示しているが、2000年東側(可変施肥区)では穂肥施用以降は分けつ数を除いて負の相関を示している。これは幼穂形成期に生育のよい場所にはあまり肥料をまかず、生育の劣る場所に肥料を多くまいたために、穂肥以降の生育ステージで栄養状態の良し悪しが逆転したと思われる。ワラ量は穂肥以前の生育に大きく影響されるため、このような結果になったものと考えられる。

危険率5%の範囲で有意な相関みられる場合もあるが数値が小さいため、生育指数から最終的なワラ質を推定すると精度は期待できない。

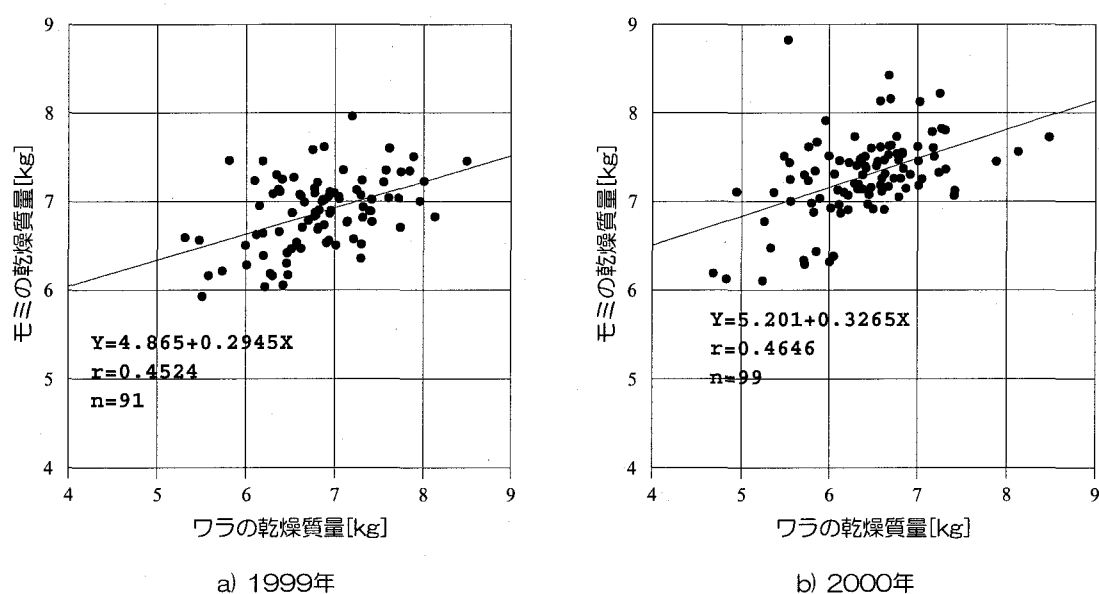
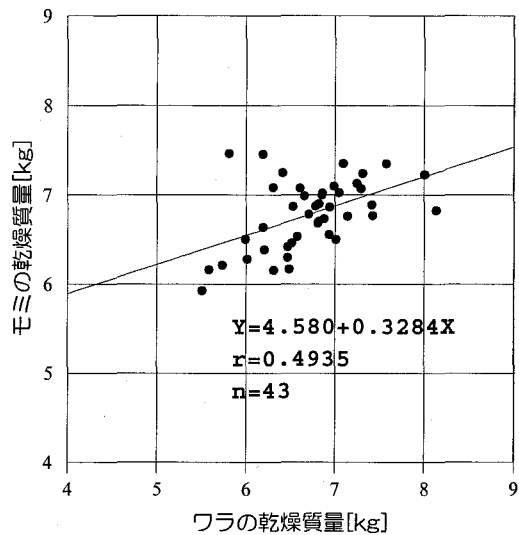


図4-11 ワラとモミの乾燥質量の関係

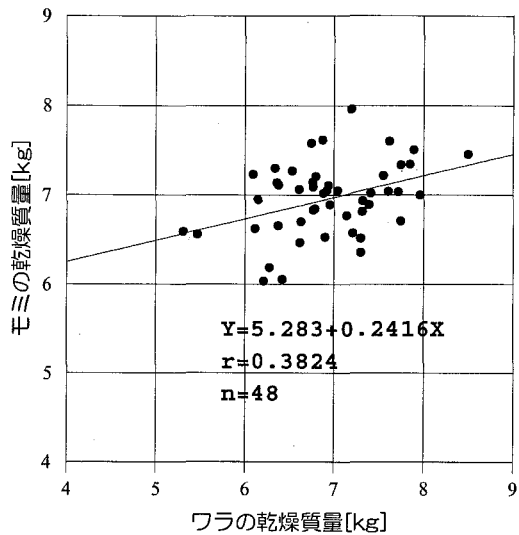
4.3.3. ワラとモミの関係

図4-11にワラの乾量とモミの乾量の関係を示す。1999年、2000年ともに相関係数 $r=0$ であることを危険率5%の範囲で棄却することができた。しかし、決定係数がそれぞれ0.2047, 0.2159であり、求めた回帰式では変動の20%程度しか説明できていない。したがって、このほ場内では、ワラ乾燥質量の変動とモミ乾燥質量の変動は相関があるが、求めた回帰式ではワラ乾燥質量からモミ乾燥質量を正確には推測することはできなかった。モミとワラの収量の合計である全乾物収量はその位置の生産能力を示していると考えられる。また、モミワラ比からモミの生産効率を確認することが可能である。ワラ乾燥質量を

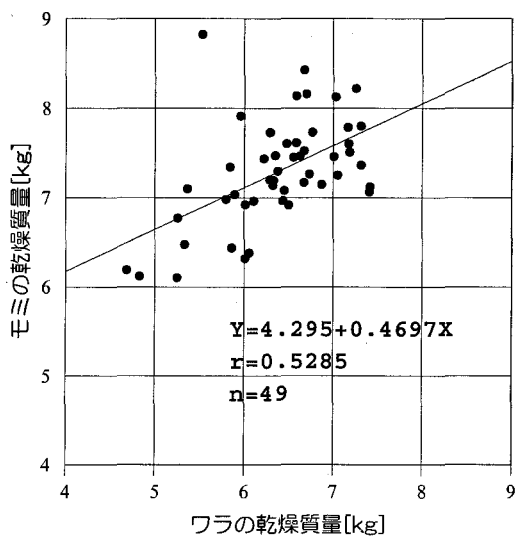
モミ収量計測だけでは推測することはできないことから、生産能力や生産効率もモミ収量計測だけでは正確に推測することはできないことになる。そのためワラ収量も計測する必要がある。



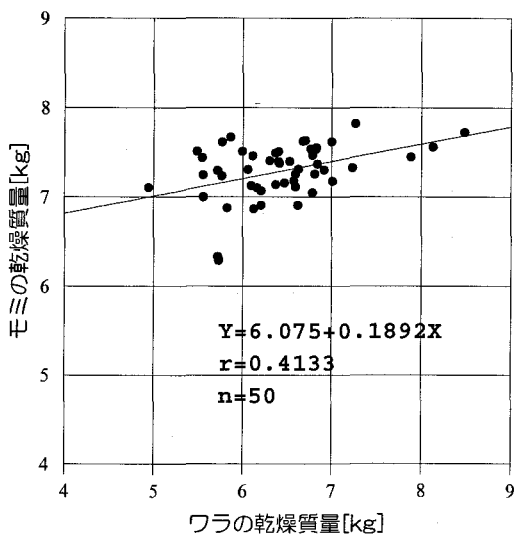
a) 1999年西側



b) 1999年東側



c) 2000年西側(均一施肥区)



d) 2000年東側(可変施肥区)

図4-12 可変施肥時のワラとモミの乾燥質量の関係

2000年の穂肥量に応じてほ場を均一施肥区(西側)と可変施肥区(東側)に分割し、それぞれ別々に分析したものを図4-12に示す。1999年、2000年ともに東側と西側両方でワラとモミの乾燥質量に有意水準5%の範囲で相関が認められた。直線回帰式の傾きが2000年では均一施肥区(西側)は可変施肥区(東側)の2倍以上であり、ワラとモミの質量の関係は大きく異なった。しかし、1999年でも直線回帰式の傾きが西側は東側より大きくなっている。このことから、このほ場の西側と東側では元々ワラとモミの質量の関係に違いがあるが、施肥管理によってその違いがさらに大きくなったと考えられる。また、1999年の西側と2000年の均一施肥区(西側)を比較した場合も傾きが異なっており、年によってもワラとモミの質量の関係は変化した。

ワラとモミの含水率の関係を図4-13に示す。1999年は直線近似式の傾きが0であることを危険率5%の範囲で棄却することができなかったが、2000年の方は棄却することができた。2000年の直線回帰式は全変動の28%を説明している。

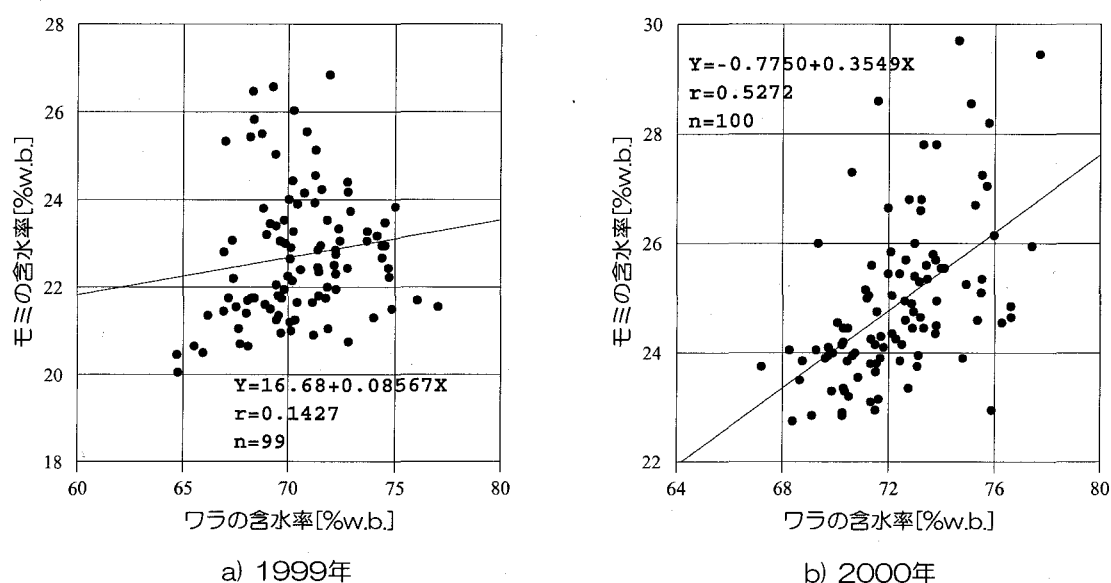


図4-13 ワラとモミの含水率の関係

4.4 結言

京都大学大学院農学研究科附属高槻農場の0.5haのほ場で生育調査ならびにワラ質量とモミ質量の全量調査を行い、その比較を行なった。主な結果は以下の通りである。

- 1)ワラ収量は、1999年では平均6.80t/ha, 4.88~8.48t/haであり、2000年では平均6.80t/ha, 4.69~8.48t/haであった。モミ収量は、1999年では平均7.39t/ha, 6.09~8.06t/haであり、2000年では平均7.29t/ha, 6.10~8.82t/haであった。含水率は、1999年では平均70.5%で、64.7%~77.0%で、2000年は平均72.4%で67.2~77.7%であった。
- 2)ワラ収量には空間変動が見られ、セミバリオグラムによるとレンジは12~13mであった。したがって、ワラ収量の空間変動を調査する場合には、13m以下の間隔でサンプリングするのが望ましい。
- 3)生育初期の状態が最終的なワラの量に大きな影響があることが示唆された。また生育指数とワラ収量に相関関係が認められた。
- 4)ワラ収量とモミ収量には相関があった。しかしながら相関は低く、ワラ収量からモミ収量を推定するのは実用的ではない。また逆に、モミ収量からもワラ収量を推定することはできない。ワラの収量も重要であるため、モミ収量計測だけでなくワラ収量も計測する必要がある。
- 5)モミ・ワラ比は平均1.13で、0.91~1.59の範囲であった。また、可変施肥による影響は見られなかった。この比が大きいほどモミが効率的に生産されたことになる。しかし、セミバリオグラムでは、この値はランダムであることから、制御を行なうのは難しいと考えられる。
- 6)ワラの乾燥質量とイネの生育量には相関関係はあまり見られず、施肥を行なうことによりほぼ無相関となった。

参考文献

- 1) 李 忠根・飯田訓久・梅田幹雄・下保敏和：水田におけるモミとワラの収量マップ，農業機械学会誌，61(4), 133-140, 1999
- 2) 李忠根・飯田訓久・下保敏和・梅田幹雄：自脱コンバインのためのインパクト式収量センサの開発，農業機械学会誌，62(4), 81-88, 2000
- 3) 大黒正道・小林 恭・帖佐 直：収量計測コンバインに関する研究(第1報)，第57回農業機械学会講演要旨集，313-314, 1998
- 4) 帖佐 直・小林 恭：収量計測コンバインに関する研究(第2報)，第58回農業機械学会講演要旨集，97-98, 1999
- 5) 帖佐 直・小林 恭：収量計測コンバインに関する研究(第3報)，第58回農業機械学会講演要旨集，99-100, 1999
- 6) Yanai J., Lee C.K., Umeda M., Kosaki T.: Spatial Variability of Soil Chemical Properties in a Paddy Field, Soil Sci. Plant Nutr., 46(2), 473-482, 2000
- 7) 李 忠根・矢内純太・下保敏和・飯田訓久・梅田幹雄・小崎隆・松井勤：水田におけるほ場情報マップの作成，農業機械学会誌，63(5), 45-52, 2001
- 8) 矢内純太・李 忠根・梅田幹雄・小崎 隆：ジオスタティスティクスを用いた水田における土壌化学特性値の空間変動解析，土壌肥料学会誌，71(4), 520-529, 2000
- 9) Yanai J., Lee C.K., Kaho T., Iida M., Matsui T., Umeda M., Kosaki T. : Geostatistical Analysis of Soil Chemical Properties and Rice Yield in a Paddy Field and Application to the Analysis of Yield-Determining Factors, Soil Sci. Plant Nutr., 47(2), 291-301, 2001

5章 総括

日本の水田において精密農業を行なうにあたって正確なほ場マップを作成することが重要である。そこで以下の3つを目的とした。

- 1) ほ場情報を取得するセンサの開発を行ない、情報収集の手間を軽減する。
- 2) ほ場情報の空間変動はどのようになっているかを確認する。
- 3) 生長途中の状態と収量とはどのような関係にあるかを調べる。

本研究の内容および結果は次の通りである。

- 1) モミ収量をコンテナと一緒に計測する積載量計測装置の開発を行った。ロードセル3個と傾斜センサ2個を使用し、運搬車が走行する場合に備えて、転落防止のためのロック機構とガイド、およびコンテナ昇降用カム機構を設けた。
- 2) 自脱コンバインの結束機の動作をモニタすることによりワラの乾燥質量マップを作成する装置の試作した。
- 3) イネの生育量および収量の計測を行いジオスタスティクスの手法を用いて空間依存性の評価を行った。
- 4) 窒素保有量の調査結果を基にして穂肥を可変にした。
- 5) 圃場実験の結果、開発した積載量計測装置はモミ質量を±9kg以内の誤差で計測することができた。
- 6) コンバインで収穫しながらワラ束の質量分布を作成し、その分布に及ぼすワラ含水率の影響について検討した。この結果ワラ含水率は結束機で結束する一束のワラ束の大きさに影響を与えないとみなすことができた。
- 7) 作業速度はワラ束質量に影響があり、0.35-0.94m/sの範囲では作業速度とワラ束質量は直線関係とみなすことができた。
- 8) 作業速度を考慮に入れて水稻のワラ収量マップを作成することができた。
- 9) ワラ収量は、1999年では平均6.80t/ha, 4.88~8.48t/haであり、2000年では平均6.80t/ha, 4.69~8.48t/haであった。モミ収量は、1999年では平均7.39t/ha, 6.09~8.06t/haであり、2000年では平均7.29t/ha, 6.10~8.82t/haであった。含水率は、1999年では平均70.5%で、64.7%~77.0%で、2000年は平均72.4%で67.2~77.7%であった。
- 10) モミ・ワラ比は平均1.13で、0.91~1.59であった。また、可変施肥による影

響は見られなかった。この比が大きいほどモミが効率的に生産されたことになる。しかし、セミバリオグラムでは、この値はランダムであることから、制御を行なうのは難しいと考えられる。

11) 生育初期の状態が最終的なワラの量に大きな影響があることが示唆された。また生育指数とワラ収量に相関関係が認められた。

12) ワラの乾燥質量とイネの生育量には相関関係はあまり見られず、施肥を行なうことによりほぼ無相関となった。

13) ワラ収量には空間変動が見られ、セミバリオグラムによると12～13mであった。したがって、ワラ収量の空間変動を調査する場合には、13m以下の間隔でサンプリングするのが望ましい。

14) ワラ収量とモミ収量には相関があった。しかしながら相関は低く、ワラ収量からモミ収量を推定するのは実用的ではない。また逆に、モミ収量からもワラ収量を推定することはできない。

15) イネの生育量や収量は、多くの環境要因に影響を受けており、空間変動の発生に大きく関与している要因を見つけることは簡単ではない。また、生育のステージごとに、生育に大きく関与している要因が変化して行く。そのため、前年の収量やある一時期の生育量のみを参考にして可変施肥を行うことは危険であり、多くの要因を考慮に入れて栽培管理をする必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたって、京都大学農学研究科梅田幹雄教授には、多くの助言賜り、さらに実験装置やほ場の準備を下さったことを深く感謝いたします。

本論文をまとめるにあたり京都大学農学研究科池田善郎教授ならびに笈田昭教授からは大変有益な助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

京都大学農学研究科飯田訓久助教授には、多くの助言を賜り、実験装置の組み立ても手伝っていただきました。ここに深く感謝の意を表します。

京都大学農学研究科稲村達也助教授には、多くの助言を賜り、調査方法を教えて頂きましたことを深く感謝いたします。

京都大学農学研究科井上博茂助手および京都大学農学研究科松井勤助手にはイネの生育およびほ場管理について多くの助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

最後に、貴重な時間を裂いて実験の手伝いをして下さった研究室の方々と、ほ場管理をしていただいた加賀田恒技官および平井政明技官をはじめ農場の技官の方々に感謝の意を表します。

付録

データ収集用プログラム(運搬車のための積載量計測装置で使用)

```
/* CONTEC AD12-16T(98)
 * this A/D convert program was written by vinwa in 1999/10/3
 * using PC-internal timer interrupt
 * to compile it, use DJGPP v2, input like this
 * gcc <input source file name> -o <output executable file name>
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#ifdef __FreeBSD__
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <machine/cpufunc.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/ioctl.h>
#include <termios.h>
#else
#include <pc.h>
#include <dos.h>
#include <go32.h>
#include <dpmi.h>
#include <sys/farptr.h>
#endif
#ifndef __FreeBSD__
#define inb(address) inportb(address)
#define outb(address, data) outportb(address, data)
#define inw(address) inportw(address)
#define outw(address, data) outportw(address, data)
#endif

/* base +2 */
#define AD_TIMERGATE 0x10
#define AD_SELECTTIGER 0x08

/* base +1 */
#define AD_RST_TRIGGERSTATUS 0x01
#define AD_TRIGGER 0x10
#define AD_OVERRUN 0x20
#define AD_DONE 0x40
#define AD_HALFWAY 0x80

/* base +0 */
#define AD_START 0x10
#define MAXCHANNEL 5
#define ADPA 0x1d0

void
wait(int cnt)
{
    int i;
    for(i=0; i<cnt; i++)
        outb(0x5f, 0);
}

/* initialize AD Converter
 * CONTEC AD12-16T(98)
 */
void
__ad_init()
{

```

```

/* stop & set trigger mode */
outb(ADPA+2,AD_TIMERGATE);

/* mode2 ch0,1 4MHz -> 1kHz -> 10Hz -> 1Hz
 * 0.25 *cnt0*cnt1*cnt2 [us]
 * cnt0 = 4000 (0x0fa0)
 * cnt1 = 100 (0x64)
 * cnt2 = 10 (0xa)
 */
outb(ADPA+0x0e,0x34);wait(5);
outb(ADPA+8,0xa0);wait(5);outb(ADPA+8,0x0f);wait(5);
outb(ADPA+0x0e,0x74); wait(5);
outb(ADPA+0x0a,0xa);wait(5);outb(ADPA+0x0a,0);wait(5);
outb(ADPA+0x0e,0xb4); wait(5);
outb(ADPA+0x0a,0x0a);wait(5);outb(ADPA+0x0a,0);wait(5);

/* timer start */
outb(ADPA+2, AD_TIMERGATE);
}

int
__ad_read( unsigned char *status)
{
    *status = inb(ADPA+1);
    if(*status & AD_DONE) {
        *status = 0;
        return (unsigned int)inw(ADPA);
    }
    return -1;
}

int
__ad_check(unsigned char *status)
{
    *status = inb(ADPA+1);
    if(*status & AD_TRIGGER)
        return 0;
    return -1;
}

void
__ad_start( unsigned char ch, unsigned char *status)
{
    /* set channel & start */
    outb(ADPA,AD_START | (ch & 0x0f) );

    *status = -1;
}

void
__ad_restart()
{
    /* reset status */
    outb(ADPA+1,AD_RST_TRIGGERSTATUS);
}

void
__ad_stop()
{
    /* stop timer */
    outb(ADPA+2,0);
}

```

```

static unsigned int cnt=0;
static unsigned int cnt2=0;
static unsigned int cnt3=0;
static unsigned int timer_flags=0;

#define cli asm volatile("cli");
#define sti asm volatile("sti");
#define LOCK_VARIABLE(x) _go32_dpmi_lock_data((void
*)&x, (long)sizeof(x))
#define LOCK_FUNCTION(x) _go32_dpmi_lock_code(x, (long)sizeof(x))

_go32_dpmi_seginfo OldISR, NewISR;

static void
__timer_int_entry()
{
    cnt++;
    if(cnt3<cnt2) {
        cnt3++;
    } else {
        cnt3=0;
        timer_flags++;
    }
    outb(0,0x20); /* End Of Interrupt */
}

int
__timer_init(unsigned int cnt1)
{
    unsigned char c;

    cli;
    /* interrupt controler mask */
    c=inb(2); outb(2,c | 1);

    LOCK_FUNCTION(__timer_int_entry);
    LOCK_VARIABLE(cnt);
    LOCK_VARIABLE(cnt2);
    LOCK_VARIABLE(cnt3);
    LOCK_VARIABLE(timer_flags);

    _go32_dpmi_get_protected_mode_interrupt_vector(0x08, &OldISR);
    NewISR.pm_offset = (int)__timer_int_entry;
    NewISR.pm_selector = _go32_my_cs();
    _go32_dpmi_chain_protected_mode_interrupt_vector(0x08,&NewISR);

    if( cnt1<0x100 || !cnt2 )
        return -1;
    outb(0x77,0x36); /* #0 mode3 */
    outb(0x71,cnt1); outb(0x71,cnt1>>8);

    /* interrupt controler unmask */
    c=inb(2); outb(2,c & ~1);
    sti;
    return 0;
}

void
__timer_close()
{
    /* interrupt mask */
    outb(2,inb(2)|1);
}

```



```

/* interrupt vector resotre here */
_go32_dpml_set_protected_mode_interrupt_vector(0x08, &OldISR);
}
#ifdef DEBUG
static int wc=0, weight;
#endif

int
main()
{
    int c, i, count=0, errno;
    unsigned char status=0, flags=1, ch=0;
    unsigned short buf[MAXCHANNEL];
#ifdef DEBUG
#define WCMAX 10
    int wght[WCMAX];
#endif

    /* set counter value to 0xc000, interval is 10ms if mode is 3
     * 10ms * 10 = 100ms
     * timer_flags is settled evrey 100ms
     */
    cnt2 = 10;
    if(__timer_init(0xc000)==-1)
        return -1;

    __ad_init();

    for(;;) {
        if( ch > MAXCHANNEL-1 ) { /* done all channels */
            ch=0;
#ifdef DEBUG
            wght[wc]=0;
#endif
            fprintf(stdout,"%d",count);
            for(i=0;i<MAXCHANNEL;i++) {
                fprintf(stdout," %d",buf[i]);
#ifdef DEBUG
                if(i<3)
                    wght[wc]+=(int)buf[i];
#endif
            }
            fprintf(stdout,"\n");
#ifdef DEBUG
            if DEBUG == 1
                if(wc>=WCMAX-1) {
#endif
            weight=0;
            for(i=0;i<WCMAX;i++) {
                weight+=wght[i];
            }
#ifdef DEBUG
            if DEBUG == 1
            }
#endif
            fprintf(stderr,"%f\r", (double) (weight/10-4096-2048)*0.244);

            wc++;
            if(wc>=WCMAX) {
                wc=0;
            }
#ifdef DEBUG
            count++;

```

```

#ifdef DEBUG
    if(count>100)
        break;
#endif
    flags=0;
    timer_flags=0;
    c = bdos((int)6,0xff,0) & 0xff ;
    if(c=='q' || c=='Q')
        break;
}
/* flags  4 = A/D converter is already started
 *        2 = A/D converting now
 *        1 = timer trigger bit is settled. not use its feature
 */
if(!(flags&4)) {
    if(timer_flags) {
        __ad_restart();
        flags |= 4;
    }
    if(flags & 4 && !(flags & 2)) {
        __ad_start(ch, &status);
        flags |= 3;
    }
    /* trigger bit is never became ON */
    if( flags & 2) {
        errno = __ad_check(&status);
        if(!errno)
            flags|=1;
    }
    /*
    if( flags & 1) {
        errno = __ad_read( &status);
        if(errno != -1 ) {
            buf[ch] = errno & 0x0fff;
            ch++;
            flags &= ~3;
        }
    }
    */
    /* XXX
    * I do not know why its operation is need.
    * about 5 minute passage, timer interrupt is unexpectly masked,
    * and A/D convert is not trigered any more.
    */
    c = inb(2);
    if(c & 1)
        outb(2,c & ~1);

#ifdef defined(DEBUG) && DEBUG > 1
    fprintf(stderr,"%x\r",cnt);
#endif
}
__ad_stop();
__timer_close();
return 0;
}

```